



U.

**Universidad Nacional de Río Negro
Sede Alto Valle _ Valle Medio
Trabajo Final de la Licenciatura en Geología**

**ESCENARIOS FUTUROS DE INUNDACIONES SOBRE LA COSTA DE LA BAHÍA DE
SAN ANTONIO, RIO NEGRO, ARGENTINA. A PARTIR DE MODELADOS POR EL EFECTO
DEL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR**

Autora: Fernandez Luengo, Valentina Aldana

Director: Caselli, Alberto Tomás

Codirector: Paredes, Carlos Bartolome

- 2023 -

Índice

Resumen	6
Abstract.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Área de estudio	9
2 ANTECEDENTES	10
2.1 Geológicos y geomorfológicos	10
2.2 Clima, olas y marea	13
2.3 Pronósticos del cambio climático según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.....	14
2.4 Inundaciones históricas en Bahía San Antonio.....	15
3. MATERIALES Y METODOS.....	17
4. RESULTADOS.....	20
4.1 Modelo Digital de Elevación	20
4.2 Simulación de la Bahía de San Antonio del cambio del nivel del mar en Global Mapper.....	22
4.3 Taller comunitario en la ciudad de San Antonio Oeste	23
4.4 Instalación y monitoreo de cámaras	27
4.5 Modelado del cambio del nivel del mar con Iber.....	32
4.6 Validación de los modelos en SAO en el programa Iber	38
5. DISCUSION.....	41
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFIA.....	48
ANEXOS	52

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

[Figura 1.](#) Mapa de ubicación con las localidades de San Antonio Oeste, San Antonio Este y Saco Viejo.

[Figura 2.](#) Mapa geomorfológico de la Bahía de San Antonio.

[Figura 3.](#) Mapa geológico del área de estudio tomado y modificado de Fucks *et al.* (2012).

[Figura 4.](#) Tomada de Pachauri et al. (2014) cambio en el nivel medio del mar. Los cambios se muestran en relación con el período 1986-2005. A la derecha se ve el escenario RCP 2.6 y a la izquierda el escenario RCP 8.5.

[Figura 5.](#) (A) Imagen del año 1930 mostrando las vías del ferrocarril en Punta Verde SAO, inundadas. (B) Imagen del año 1930 donde el agua ingreso hasta la comisaria de la ciudad.

[Figura 6.](#) (A) Calle que lleva a Punta verde a la derecha se encuentra el parador de la playa donde se puede ver que el agua ingreso llegando al bulevar. (B) Imagen de la zona Norte de la ciudad de SAO, donde se puede ver como el agua traspaso la elevación natural de la ciudad y tapo varios autos.

[Figura 7.](#) Imagen de la playa en SAE, una marea extraordinaria tapo los autos de los turistas que se encontraban estacionados.

[Figura 8.](#) Relevamiento con VANT en la ciudad de SAO.

[Figura 9.](#) MDE de la ciudad de SAO.

[Figura 10.](#) Ortomosaico de la ciudad de SAO.

[Figura 11.](#) Modelado de la BSA en el programa Global Mapper. (A) Modelado de una marea actual. (B) Modelado de marea actual 9 m y marea extraordinaria 9.8 m. (C) Modelado de marea actual en comparación con una marea extraordinaria más el escenario RCP 8.5.

[Figura 12.](#) Mapa de la localidad de SAO donde se indican los nombres de los barrios de la ciudad. Tomado desde la página web del Municipio de San Antonio Oeste.

[Figura 13.](#) Mapa confeccionado en QGIS sobre la zona Este de la ciudad de SAO, los datos se obtuvieron en el taller.

[Figura 14.](#) Mapa de la zona centro de la ciudad de SAO, el cual muestra las zonas más afectadas según los ciudadanos de la ciudad. Ver las referencias en la figura 13.

[Figura 15.](#) Mapa confeccionado a partir de los datos del taller sobre la zona Oeste de la ciudad de SAO. Ver las referencias en la figura 13.

[Figura 16.](#) Mapa de inundaciones históricas de la zona Este de la ciudad de SAO, comprende inundaciones desde el año 1930 a la actualidad.

[Figura 17.](#) Cámaras de *time-lapse* ubicadas en tres puntos estratégicos de SAO. En amarillo se puede ver el área de enfoque de 38° de la cámara. Los números hacen referencia a 1. La Ría, 2. Punta Verde y 3. Canal del Indio.

[Figura 18.](#) Secuencia de imágenes tomadas en la zona de Canal del Indio (canal Sur) de SAO. Según tabla de marea del día 23 de abril de 2023. Las imágenes fueron tomadas desde las 8 a.m. a las 6 p.m.

[Figura 19](#). Secuencia de imágenes obtenida de la zona de Punta Verde en SAO. Según tabla de marea del día 23 de abril de 2023. Las imágenes fueron tomadas desde las 8 a.m. a las 6 p.m.

[Figura 20](#). Secuencia de imágenes tomadas de la zona de La Ría (canal Norte) de SAO. Según tabla de marea del día 23 de abril de 2023. Las imágenes fueron tomadas desde las 8 a.m. a las 6 p.m.

[Figura 21](#). Flujo de trabajo de los distintos escenarios proyectados en Iber y Global Mapper.

[Figura 22](#). Puntos tomados en cada boca de los canales El Indio (verde) y La Ría (rojo), junto con la gráfica de las tablas de área proporcionadas por Iber. La gráfica se puede ver en el [anexo 1](#).

[Figura 23](#). (A) Ciudad de SAO mostrando el parámetro rugosidad utilizado en el *software* Iber. (B) Ciudad de SAO en Iber con la malla generada y el MDE cargado. En la zona inferior de la imagen vemos un cuadro sobre la rugosidad (Coeficiente de Manning) y el tamaño de mallado que se utilizó para cada modelado.

[Figura 24](#). (A) Modelado en *software* Iber de SAO realizado con la tabla de marea del [anexo 1](#). Podemos ver que muestra el calado para el escenario MS. (B) Modelado de SAO en Iber para una MS mostrando los resultados de cota de agua.

[Figura 25](#). (A) Modelado en Iber de la zona Sur de SAO, donde se observa la cota de agua en puntos específicos que demuestran como el Camino Circunvalación se comporta como un muro. (B) Los mismos puntos que en A mostrando el valor de elevación en el MDE.

[Figura 26](#). (A) Modelado en *software* Iber de SAO realizado con la tabla de marea del [anexo 1](#). Podemos ver que muestra los resultados de calado para el escenario MSS. (B) Modelado de SAO en Iber para una MSS mostrando los resultados de cota de agua.

[Figura 27](#). Comparación entre el modelado en *software* Iber mostrando resultados de calado para la ciudad de SAO y el mapa del taller, ver referencias en la figura 13.

[Figura 28](#). Modelado en Iber de diferentes momentos de una MSS a medida que ingresa el agua. En (A) la marea es de 9 m, (B) la marea es de 9.3 m, (C) Marea de 9.5 m y en (D) Marea de 9.7 m.

[Figura 29](#). (A) Modelado en *software* Iber mostrando resultados del calado para el año 2100 de la ciudad de SAO. (B) Modelado en *software* Iber de SAO. Podemos ver que muestra la cota de agua para el año 2100. Ambos modelos fueron realizados con la tabla de marea del [anexo 1](#).

[Tabla 1](#). Datos de los escenarios RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5 para el incremento del nivel del mar, de la temperatura y como debe variar el CO₂ en cada uno de los escenarios.

[Tabla 2](#). Diferencias entre los programas Iber y Global Mapper.

Agradecimientos

Quisiera comenzar expresando mi profundo agradecimiento a mi director, Alberto Caselli, quien desde el segundo año confió en mí para acompañarlo en campañas y ayudantías de clases, incentivándome a seguir creyendo en el fascinante camino de la geología. Agradezco sus innumerables charlas y la oportunidad de participar en las recientes campañas, así como por permitirme cerrar mi carrera de grado con un Trabajo de Fin de Grado dirigido por él. Deseo extender mi agradecimiento de manera inmensa a mi co-director, Carlos Paredes, quien apareció en mi camino de manera sorpresiva, brindando sus extensos conocimientos en diversos temas y haciendo de este trabajo una experiencia placentera.

Deseo agradecerle a Pampa Azul por brindarme una beca relacionada a estudios sobre el océano Atlántico. A la municipalidad de SAO, por su apoyo a la hora de la realización de los talleres y por prestar su amabilidad en cada detalle que fue necesario.

Mis agradecimientos más sinceros van a mi familia: mis padres, Paula y Pedro, y mis hermanas, Emilia y Francisca. Gracias por el apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida y de mi carrera, siempre presentes tanto en los momentos buenos como en los difíciles. Quiero destacar especialmente a mis hermanas, quienes muchas veces me cuidaron y prestaron atención cuando más lo necesitaba.

Agradezco enormemente a mis amigas de la carrera, Iara y Ariadna, con quienes compartí infinitas tardes de estudio, mates, finales y cursadas. También, a mis amigas de toda la vida, Constanza, Carla y Pilar, quienes siempre estuvieron presentes para brindar su aliento.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a mi pareja, Mario, quien no solo es mi amigo y colega, sino que también dedicó innumerables tardes a repasar conmigo, aprender a utilizar *softwares* y debatir sobre tablas de marea.

Resumen

La modelación hidráulica emerge como un recurso esencial, tanto para el estudio forense como de pronóstico, en ciudades costeras propensas a inundaciones. Este estudio, enfocado en la Bahía de San Antonio, emplea el *software* Iber para analizar el impacto del cambio climático y eventos de sudestada. Su objetivo primordial es evaluar las amenazas de futuras inundaciones, considerando escenarios de aumento del nivel del mar y proporcionar información clave para la planificación de mitigaciones y reducción de riesgos.

Situado en el área turística de San Antonio Oeste, el trabajo aborda problemáticas históricas desde la década de 1930. La metodología integra la confección de tablas de mareas, modelados en Iber y la validación de resultados con datos históricos y opiniones locales, contribuyendo a comprender la dinámica costera y extrayendo información que permita ayudar a proponer medidas efectivas contra las crecientes amenazas de inundaciones.

Los resultados revelan algunos patrones significativos de inundación en la Bahía de San Antonio. Los escenarios de marea con sudestada y las proyecciones para el año 2100 indican áreas vulnerables que persisten y se extienden, afectando diversos barrios. El modelo destaca problemáticas actuales y limitaciones de las medidas existentes, como la elevación del Camino de Circunvalación. La validación con datos locales respalda los modelados hidráulicos, identificando áreas clave para estrategias de mitigación y destacando la necesidad de considerar escenarios extraordinarios en el futuro.

Abstract

Hydraulic modeling emerges as an essential resource, both for forensic and predictive studies, in coastal cities prone to flooding. This study, focused on the Bay of San Antonio, employs the Iber *software* to analyze the impact of climate change and storm surge events. Its primary objective is to assess future flood threats, considering scenarios of sea-level rise, and provide key information for mitigation planning and risk reduction.

Located in the tourist area of San Antonio Oeste, the work addresses historical issues dating back to the 1930s. The methodology integrates the creation of tidal tables, Iber modeling, and result validation with historical data and local input, contributing to

understanding coastal dynamics and extracting information to propose effective measures against the growing threats of flooding.

The results reveal some significant flooding patterns in the Bay of San Antonio. Scenarios of tide with storm surge and projections for the year 2100 indicate vulnerable areas that persist and expand, affecting various neighborhoods. The model highlights current issues and limitations of existing measures, such as the elevation of the Circunvalación Road. Validation with local data supports the accuracy of hydraulic models, identifying key areas for mitigation strategies and emphasizing the need to consider extraordinary scenarios in the future.

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones extremas en zonas costeras urbanizadas provocan un elevado número de muertes y pérdidas materiales que tienen un impacto significativo en el desarrollo de las comunidades afectadas ([Barnard et al., 2019](#)). Esta problemática se agrava en las áreas urbanas durante eventos de sudestada, debido a la urbanización descontrolada (consecuencia de planes de urbanización que no contemplan los escenarios de amenaza aquí considerados o de los posibles asentamientos ilegales) y a la incapacidad del sistema de alcantarillado para gestionar los escurrimientos generados. Para las ciudades costeras, la posible acción superpuesta de sudestadas, mareas extraordinarias y vientos, con una morfología del paisaje desfavorable crea una evidente amenaza de inundación, y la elevación del nivel del mar intensifica drásticamente las consecuencias de ésta a futuro.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) establece una serie de pronósticos basados en el análisis de series temporales históricas de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero, aerosoles y gases químicamente activos, así como en el uso y la cobertura de la tierra ([Pörtner et al., 2019](#)). Estos análisis se realizan para presentar diferentes escenarios conocidos como "*Representative Concentration Pathway*" (RCP), que indican las posibles consecuencias del aumento del nivel del mar debido a la expansión térmica de los océanos y al derretimiento de los glaciares causados por el cambio climático ([Pörtner et al., 2021](#)). Entre todos los escenarios posibles, el RCP 4.5 supone que las emisiones de gases contaminantes se mantendrán en niveles intermedios y que los países implementarán planes de mitigación. Por otro lado, el escenario más alarmante, el RCP 8.5, describe lo que podría ocurrir en caso de un aumento significativo de las emisiones de gases contaminantes y la ausencia de políticas de mitigación.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto que podría generar el aumento del nivel del mar debido al cambio climático. Por esto, se confeccionó una tabla de marea que contempló los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 en situaciones de sudestadas, para utilizarlas en el *software* Iber y obtener distintos modelados de la región de la Bahía de San Antonio (BSA) hacia finales del siglo XXI.

En esta área de estudio se encuentran dos ciudades turísticas y otras poblaciones, como son San Antonio Oeste (SAO), San Antonio Este (SAE), Las Grutas (LG) y Saco Viejo (SV). La primera ciudad ha experimentado problemas de inundación desde la década de 1930 hasta la actualidad, debido a las altas pleamares, sudestadas, tormentas y la disposición de las alcantarillas ([Kokot et al., 2004](#)). Por lo tanto, este estudio posee una

gran importancia para comprender la dinámica costera en relación con el cambio climático en estas ciudades. Además, los resultados podrían tener un impacto directo en las estrategias de reducción de riesgos y en la planificación de obras de mitigación adecuadas, que podrían ser aplicadas en otras zonas costeras de Argentina.

1.1 Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo final de grado (TFG) se encuentran ubicada en la región Noreste del Golfo de San Matías, en la provincia de Río Negro, Argentina, comprendida entre las latitudes $40^{\circ}49' S$ y $40^{\circ}42' S$, y las longitudes $65^{\circ}0' O$ y $64^{\circ}43' O$ (Fig. 1). Esta zona abarca las ciudades costeras SAO y SAE, situadas a 181 km y 167 km respectivamente desde la ciudad de Viedma, con conexión a través de la ruta provincial N°3. Asimismo, dentro del área de estudio se encuentra el pueblo de SV y LG, las cuales poseen un notable atractivo turístico. Se puede acceder a este lugar desde la ruta nacional 25, partiendo desde el Puerto de San Antonio Este a una distancia de 12 km.

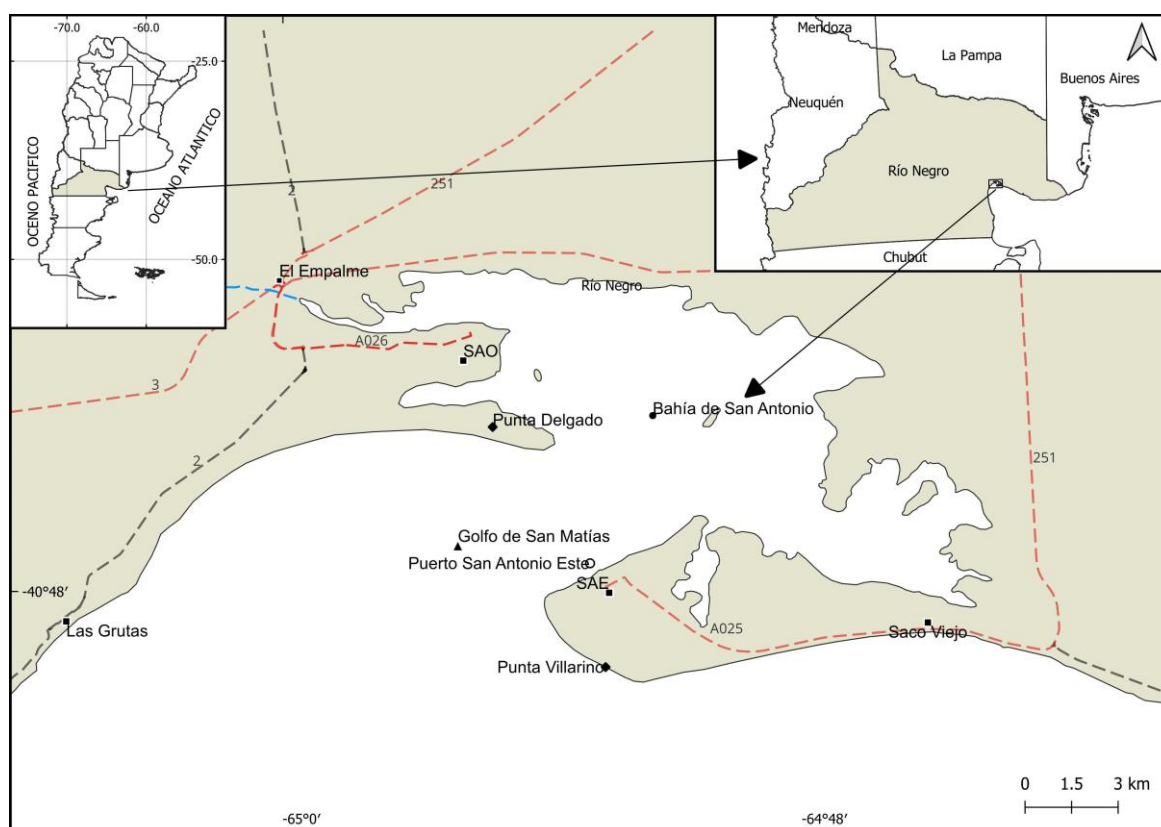


Figura 1. Mapa de ubicación con las localidades de San Antonio Oeste, San Antonio Este y Saco Viejo.

2 ANTECEDENTES

2.1 Geológicos y geomorfológicos

Los autores [Escofet et al. \(1977\)](#), [Scasso y Piola \(1988\)](#) y [Dragani et al. \(2008\)](#) describen el Golfo de San Matías como una depresión litoral aislada del mar adyacente. Dentro de este golfo se encuentra la localidad de SAO, ubicada sobre una terraza marina con una altitud de 8-12 m, rodeada por el mar ([Kokot y Favier et al., 2017](#)).

Diversos estudios realizados por los autores [Fidalgo y Porro et al. \(1981\)](#), [González Díaz y Malagnino \(1984\)](#), [Kokot y Favier Dubois \(2009\)](#) y [Fucks et al. \(2012\)](#) han investigado la génesis de la bahía, sugiriendo un posible origen a partir de un bajo inundado. Indican que la formación de la bahía comenzó con la inundación de dicho bajo, tras procesos previos de erosión en la zona costera que impidieron que se mantuviera completamente aislado y persistiera como tal. [Mouzo \(2014\)](#), a través de un estudio estratigráfico exhaustivo, respalda esta teoría.

En lo que respecta a la geomorfología fue estudiada por [González Díaz y Malagnino \(1984\)](#) como parte de una investigación regional en toda la provincia de Río Negro a escala 1:1,000,000. Además, [Gelós et al. \(1988, 1992a, 1992b y 1992c\)](#) llevaron a cabo relevamientos de la zona costera. [Martínez et al. \(2001\)](#) y [Busteros et al. \(1998\)](#) también contribuyeron con interpretaciones geomorfológicas en el contexto de la descripción de hojas geológicas.

La geomorfología de la BSA, según [Kokot y Favier \(2017\)](#), tiene forma de óvalo, con su eje mayor orientado de Este a Oeste, y está semicerrada por dos espigas: la espiga de Punta Delgado, orientada de Oeste a Este, y la espiga de Punta Villarino, en sentido contrario ([Fig. 2](#)). Dentro de la bahía se encuentra una importante planicie de mareas y una marisma que se cubre casi por completo durante las mareas altas, excepto en la zona Este-Nordeste, donde un sector de la planicie de mareas puede considerarse inactivo debido a su elevación actual. En forma concéntrica con respecto a la bahía se encuentran playas y una serie de cordones litorales. Hacia el continente, la bahía está limitada por pedimentos, y hacia el mar, por playas, acantilados marinos activos e inactivos y plataformas litorales. Además, cubriendo en parte las espigas y los cordones litorales, se encuentra un importante campo de dunas. Una playa se superpone con la plataforma litoral, así como con un delta de mareas que se forma en la entrada de la bahía.

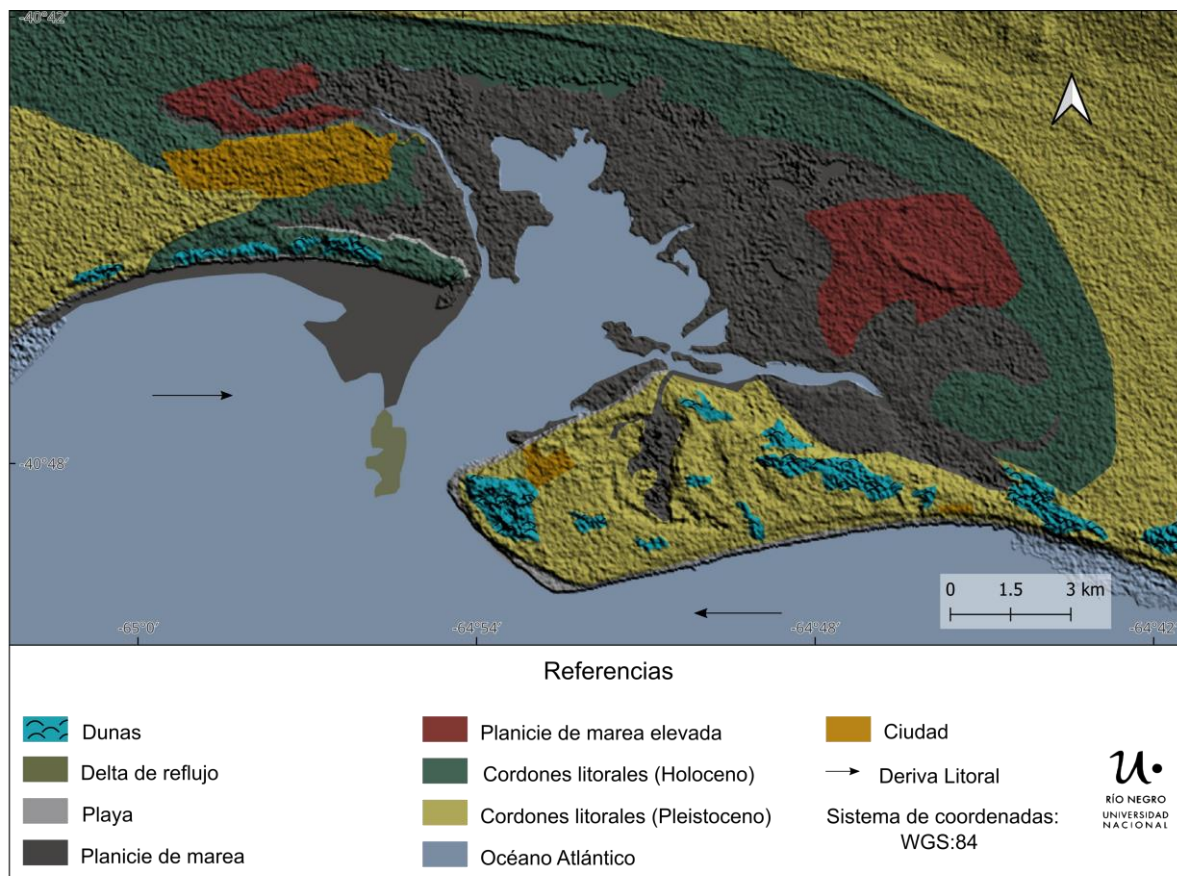


Figura 2. Mapa geomorfológico de la Bahía de San Antonio.

Aunque no existen muchos estudios específicos en el área de SAO, [Harrington \(1962\)](#) identifica que esta región pertenece a la provincia geológica del "Macizo Norpatagónico". Los primeros estudios fueron realizados por [Feruglio \(1933, 1950\)](#) en relación a las terrazas marinas en los alrededores de la zona. Estos estudios proporcionaron una estratigrafía inicial para el Cuaternario basada en la elevación altimétrica y los moluscos encontrados en las terrazas.

El registro sedimentario más antiguo que aflora en la zona es conformado por la Formación Gran Bajo del Gualicho ([Lizuain y Sepúlveda, 1978](#)), que data del Oligoceno-Mioceno ([Fig. 3](#)). Esta formación se encuentra a lo largo de los frentes de los acantilados y la plataforma litoral, y está compuesta por areniscas calcáreas, rudstones, arcillas, material piroclástico y niveles de yeso. Suprayacente limitado por una aparente discordancia erosiva se encuentra la Formación Río Negro ([Andreis, 1965, Martínez et al., 2001](#)), que consiste en areniscas de grano medio a fino y limoarcillitas. Estas rocas afloran al norte de la BSA, en las zonas más elevadas que rodean a la Bahía, no aflorante en el área de estudio.

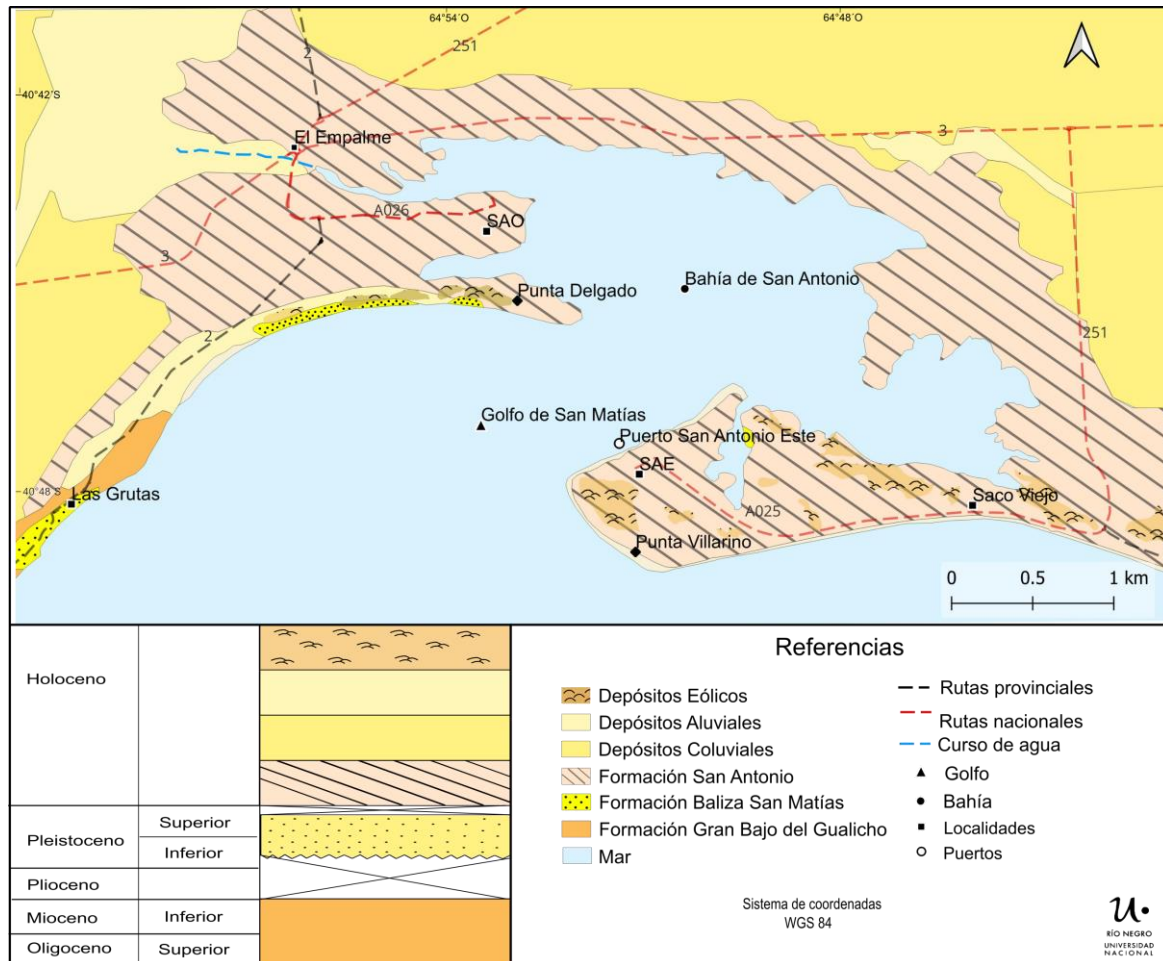


Figura 3. Mapa geológico y columna estratigráfica del área de estudio tomado y modificado de [Fucks et al. \(2012\)](#).

La Formación Baliza San Matías ([Angulo et al. 1978](#)) se superpone en discordancia a la Formación Río Negro y está cubierta por depósitos marinos modernos. Esta unidad está compuesta por conglomerados con clastos de guijarros y conchas de moluscos en una matriz arenosa. Inicialmente, se asignó al Pleistoceno inferior-medio ([Fidalgo y Porro, 1981](#)), pero estudios posteriores, como los de [Mouzo \(2014\)](#), mediante el análisis de relaciones estratigráficas, la han relacionado con el Holoceno. Los afloramientos de esta unidad se pueden encontrar en las proximidades de SAE. La Formación San Antonio fue definida por [Angulo et al. \(1978\)](#) para designar a los depósitos de cordones costaneros arenosos con participación variable de conchillas. Aflora en los bordes del canal de marea que rodea San Antonio Oeste, extendiéndose no más de 3 km al norte de la costa y hasta unos 10 km al oeste de la boca del canal ([Martinez et al., 2001](#)).

Los depósitos coluviales están compuestos por clastos de los Rodados Patagónicos y unidades infrayacentes, principalmente de las sedimentitas marinas y fluviales terciarias.

Seguidamente, están los depósitos aluviales que convergen en los bajos y constituyen los depósitos de la planicie de inundación actual del río Negro. Finalmente, los depósitos eólicos se encuentran al sur y norte de la Formación Gran Bajo del Gualicho en SAO, estos son acumulaciones de material psamítico, en parte limoso, conformando mantos de arena o médanos iniciales ([Martínez et al., 2001](#)).

2.2 Clima, olas y marea

Según el trabajo de [Kokot y Favier \(2017\)](#), el clima en SAO es semiárido, con precipitaciones medias inferiores a 250 mm/año y temperaturas que oscilan entre los 14 °C y 41 °C en verano, y entre 2 °C y 13 °C en invierno. Durante el invierno, los vientos predominantes provienen del océano y su intensidad es mayor que en otras estaciones, siendo comunes los vientos fuertes procedentes del Oeste. Además, cuando el viento del Sur afecta a las mareas, se producen eventos de sudestada que complican a la marea de manera significativa. También, el agua en SAO es más cálida que en las zonas circundantes debido a los efectos combinados del calentamiento atmosférico solar en las playas, además de la existencia de una plataforma litoral poco profunda durante la marea baja y las corrientes marinas débiles ([Kokot y Favier 2017](#)).

En cuanto a la dinámica oceánica en la zona de estudio, de acuerdo a la información del [Servicio de Hidrografía Naval](#) (SHN) (2023) el oleaje en el Golfo de San Matías, tiene una altura que oscila entre 0.5 m y 1.5 m, con períodos de 7-10 s. Durante una tormenta registrada en febrero de 2006 con vientos del sureste, la altura de las olas superó los 3 m, lo que intensificó la erosión de los acantilados adyacentes a SAO ([Kokot et al., 2017](#)).

La marea en SAO es de tipo semidiurna, según el [SHN](#) la marea máxima fue de 9.53 m y la marea mínima de 0.15 m, según previsiones correspondientes al puerto de San Antonio de ultramar. La amplitud de marea es de 9.26 m, la media de las mareas altas es de 7.96 m. El pronóstico de marea para la Bahía de San Antonio se hace según una proyección a partir de la marea de Bahía Blanca, ya que en la zona no se dispone de un registro mareográfico. Según la página que se utilice ([SHN](#), “Tablas de marea”, etc.) existe una gran diferencia en los valores de las pleamares de las tablas de marea. Cabe destacar que al predecir las tablas de mareas desde el puerto de ultramar puede ser un inconveniente a la hora de saber realmente el dato de pleamar (amplitud de onda e instante) certero.

2.3 Pronósticos del cambio climático según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

El IPCC está conformado por especialistas en el medio ambiente que llevaron a cabo tres informes especiales, titulados: 1. Calentamiento Global de 1,5 °C, 2. El cambio climático y la tierra y 3. Los océanos y la criosfera en un clima cambiante, siendo este último de relevancia para este trabajo. El informe se divide en tres categorías: cambios e impactos observados, cambios y riesgos proyectados, y estrategias de respuesta a los cambios en los océanos y la criosfera ([Pörtner et al., 2019](#)). La importancia de este informe radica en que todos los habitantes de la Tierra dependen de los océanos y la criosfera, debido a que los océanos cubren el 71 % de la superficie terrestre y contienen el 97 % del agua del planeta ([Pörtner et al., 2021](#)).

En este informe, las evaluaciones de los cambios futuros proyectados se basan principalmente en los resultados de modelos climáticos que utilizan las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Los RCP son escenarios que incorporan series temporales de emisiones y concentraciones de una amplia gama de gases de efecto invernadero, aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso y cobertura de la tierra ([Pörtner et al., 2021](#)). Cada RCP representa uno de los múltiples escenarios posibles que conducirían a diferentes niveles de calentamiento global y consecuentemente en una altura de ascenso del nivel del mar distinto ([Fig. 4](#)).

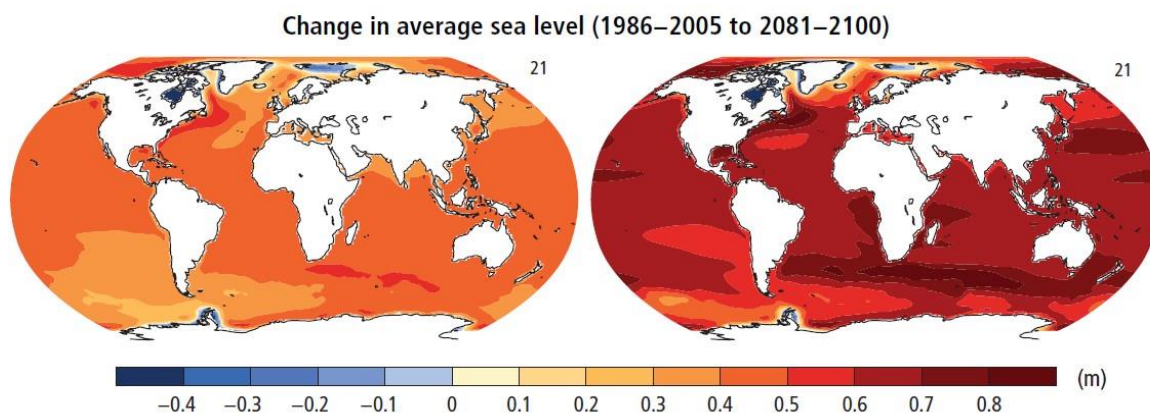


Figura 4. Tomada de [Pachauri et al., \(2014\)](#) cambio en el nivel medio del mar. Los cambios se muestran en relación con el período 1986-2005. A la derecha se ve el escenario RCP 2.6 y a la izquierda el escenario RCP 8.5.

El escenario RCP 4,5 implica que las emisiones alcancen su punto máximo en el año 2040 y luego disminuyan, traduciéndose en niveles intermedios de

calentamiento. Es más probable que el RCP 4,5 resulte en un aumento de la temperatura global de entre 2 °C y 3 °C para el año 2100, con un aumento medio del nivel del mar un 35 % mayor que el del RCP 2,6. El RCP 2,6 es una vía "muy estricta", según el IPCC, requiriéndose que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) comiencen a disminuir para el año 2020 y lleguen a cero para el año 2100 ([Pörtner et al., 2019](#)). En cambio, el RCP 8,5 es un escenario con altas emisiones de gases de efecto invernadero y sin políticas destinadas a mitigar el cambio climático, lo que resulta en un crecimiento constante y sostenido de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero ([Tabla 1](#)).

Tabla 1. Datos de los escenarios RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5 para el incremento del nivel del mar, de la temperatura y como debe variar el CO₂ en cada uno de los escenarios.

Escenario	Incremento del nivel del mar		Incremento de la temperatura		Variación del CO ₂
	2046/2065	2081/2100	2046/2065	2081/2100	
	Media (rango probable)	Media (rango probable)	Media (rango probable)	Media (rango probable)	
RCP 2,6	0,24 (0,17 a 0,32)	0,40 (0,26 a 0,55)	1 (0,4 a 1,6)	1 (0,3 a 1,7)	>2023-2020/ <2020-2100
RCP 4,5	0,26 (0,19 a 0,33)	0,47 (0,32 a 0,63)	1,4 (0,9 a 2)	1,8 (1,1 a 2,6)	>2023-2040/ <2040-2100
RCP 8,5	0,30 (0,22 a 0,38)	0,63 (0,45 a 0,82)	2 (1,4 a 2,6)	3,7 (2,6 a 4,8)	>2023-2100

2.4 Inundaciones históricas en Bahía San Antonio

Se llevaron a cabo estudios sobre la vulnerabilidad de la costa de Río Negro ante fenómenos globales de aumento del nivel del mar a largo plazo ([Kokot et al. 2004](#)). Las variables utilizadas en el modelo incluyeron la altitud (m), el cambio del nivel del mar (mm/año), el tipo de roca (geología), las geoformas (geomorfología), el desplazamiento de la línea de costa (m/año), la máxima altura de ola en un año (m) y el rango de marea (m). En la BSA, determinaron que el índice de vulnerabilidad es muy alto, ya que es un área baja y fácilmente inundable.

Para el desarrollo de la TFG, se realizó una recopilación de datos históricos en internet en diarios sobre el área de estudio que demuestra que las inundaciones no son un problema reciente, sino que hay registros de ellas desde la década de 1930. Algunas de las fechas más reconocidas de inundaciones incluyen junio de 1930, junio de 2012, junio y septiembre de 2019 y finalmente enero de 2022. Varios artículos periodísticos destacan que estos eventos suelen estar relacionados con fuertes tormentas, vientos y ocasiones en las que las mareas alcanzan niveles excepcionales. Es importante señalar que los datos obtenidos en esta sección coinciden con los recolectados del conocimiento popular que se obtuvo del taller realizado en SAO (abril 2023).

En 1930, una marea de solsticio provocó la ruptura del terraplén de la vía férrea en Punta Verde, al Este del pueblo ([Fig. 5 A](#)). Este evento resultó en la inundación de la localidad, con las aguas ingresando hasta una distancia de 1 km tierra adentro, alcanzando la calle de la comisaría, así como las áreas que hoy conocemos como Ensanche Sur y el aeródromo ([Fig. 5 B](#)). Estos datos se encuentran documentados en el libro del autor [Lefebvre \(1977\)](#), en su obra, se explica que esta marea fue extraordinaria, con un aumento en el nivel del agua durante la madrugada, seguido de una bajamar que permitió que el agua retrocediera gradualmente de la localidad.

Otro de los eventos más destacados ocurrió en el año 2019. Durante el mes de junio, condiciones climáticas adversas caracterizadas por precipitaciones continuas e intensas, así como vientos con altas ráfagas, afectaron significativamente a la ciudad de SAO ([Fig. 6 A](#)). En ese día en particular, se esperaba una pleamar de 8.8 m. Estas condiciones climáticas provocaron complicaciones en las actividades laborales, y la municipalidad decidió brindar asistencia a las personas en situación vulnerable, trasladándolas a casas de familiares ([Diario Río Negro, 2019](#)). En la [figura 6 A](#) se puede apreciar cómo el agua inundó la calle que conduce a Punta Verde y se elevó en las áreas del bulevar. Además, se destacaron los desbordes en la ría de SAO el 3 de septiembre de 2019 ([LM Cipolletti, 2019](#)), debido a una pleamar estimada de 8 metros, la cual se intensificó debido a vientos provenientes del sur ([Fig. 6 B](#)). En la [figura 6 B](#) se observa al oeste la zona de la ría, que traspasó la elevación de la calle y se adentró en la zona de estacionamiento, cubriendo a los automóviles.

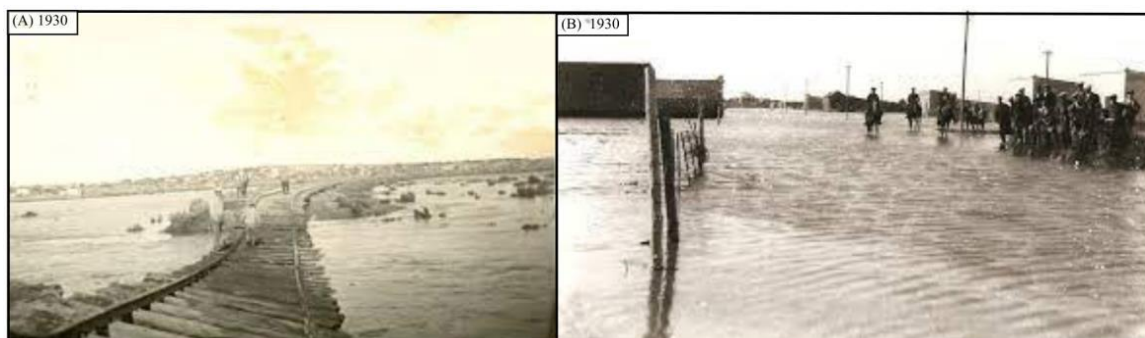


Figura 5. (A) Imagen del año 1930 mostrando las vías del ferrocarril en Punta Verde SAO, inundadas. (B) Imagen del año 1930 donde se observa el ingreso del agua hasta la comisaría de la ciudad.

Finalmente, en enero de 2022, se registró una marea extraordinaria de 9.5 m en SAE ([Fig. 7](#)). La situación se complicó debido a la falta de conocimiento y medidas de

precaución informativas para los turistas, quienes estacionaron sus vehículos en las áreas de playa sin saber que ese día se esperaba una pleamar excepcional ([Miyar, 2022](#)).



Figura 6. (A) Calle que lleva a Punta verde a la derecha se encuentra el parador de la playa donde se puede ver que el agua ingreso llegando al bulevar. (B) Imagen de la zona Norte de la ciudad de SAO, donde se puede ver como el agua traspaso la elevación natural de la ciudad y alcanzo la altura media de dos vehículos.



Figura 7. Imagen de la playa en SAE, una marea extraordinaria tapo los autos de los turistas que se encontraban estacionados.

3. MATERIALES Y METODOS

Para alcanzar los objetivos propuestos, como preparación previa a la salida de campo, se llevó a cabo una recopilación bibliográfica sobre la dinámica costera en general y del área de estudio en particular, lo que proporciona una caracterización de la zona y un entendimiento general de la costa.

Durante el viaje de campo a la ciudad de SAO, se realizó un relevamiento de las áreas costeras y urbanas mediante el uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de ala fija (Fig. 8). Posteriormente, se procesaron los datos en el trabajo de gabinete para crear un modelo de elevación del terreno (MDE) y un ortomosaico de la ciudad de SAO. Para garantizar una precisa georreferenciación del vuelo del VANT y minimizar errores, se implementaron cuatro puntos de control en tierra estratégicamente distribuidos por la ciudad. El relevamiento con el VANT cubrió un área de 16.2 km² y se tomaron un total de 1184 fotografías desde una altura de 515 m con respecto al punto de despegue. Estas imágenes se procesaron utilizando técnicas como la de *Structure from Motion* y *Multi-View Stereo* (SfM-MVS) en el *software Metashape PhotoScan V 1.2.2*. Las fotos se orientaron y se ajustó el sistema de coordenadas para vincularlas con los puntos de control previamente establecidos, para finalmente generar una nube de puntos densa, a partir de la cual se creó el MDE y el ortomosaico con resoluciones de 23.4 cm/px y 11.7 cm/px, respectivamente.



Figura 8. Relevamiento con VANT en la ciudad de SAO.

Para llevar a cabo los modelados de inundación, se utilizó el programa Iber 3.1, que es un programa que resuelve las ecuaciones de aguas someras (ecuaciones de Saint Venant) e incorpora un módulo hidrodinámico para simular flujos en ríos, estuarios, canales y cauces naturales, con infraestructuras artificiales (puentes, vertederos,

alcantarillas...) lo que permite calcular inundaciones ([Blade et al., 2014](#)). En este programa se crea un modelo para la zona de estudio a partir del MDE (de altimetrías y batimetrías), sobre el que se cargan los datos de rugosidad según los usos del suelo, se imponen unas condiciones de contorno (tramos del perímetro donde se da la entrada y salida del agua), y unas condiciones iniciales (cota inicial del agua previa a arrancar la simulación). Para llevar a cabo la resolución de las ecuaciones, según las condiciones de contorno e iniciales impuestas, se realizó una malla de triángulos no estructurada del área.

El *software* IBER utilizado en este trabajo requiere una tabla de marea para resolver las ecuaciones hidrodinámicas. Por lo tanto, la tabla de marea se generó utilizando los datos obtenidos de la página web del [SHN](#), la cual fue complementada con información de los escenarios RCP del IPCC ([Anexo 1](#)). Para la realización de dicha tabla se llevó a cabo una recopilación de datos en la página web del [SHN](#), registrando las mareas máximas y mínimas de todos los meses durante un período de 2 años ([Anexo 2](#)), esta tabla se tuvo en cuenta a la hora de elegir las mareas que serían representadas en Iber. Además, el día 27 de marzo del 2022 se realizó el vuelo con el VANT donde se obtuvieron imágenes en situación de marea alta. A partir de estas se calculó la marea de ese día a las 8.29 h dando como resultado un valor de 7.3 m, por lo cual el primer modelado se realizó con este valor. Luego, se modeló una marea de sicigia con sudestada (MSS) y finalmente se añadió el dato del IPCC (MSSRCP) correspondiente al escenario RCP 8.5, que indica un aumento del nivel del mar de 0.83 m ([Anexo 1](#)). Es importante destacar que este escenario, al ser modelado, ya tiene en cuenta el escenario RCP 4.5, que prevé un aumento de 0.62 m.

Por otro lado, en el programa Global Mapper se trabajó con un MDE obtenido de la página web *USGS EarthExplorer* del satélite ALOS PALSAR, este posee una resolución de 12.5 m/px. Con este, se realizó un modelo de inundación para BSA, bajo el escenario RCP 8.5. Además, se utilizó la información sobre el nivel del agua y la altura del punto más bajo del MDE, ya que, a partir de esa altura el programa simula el ascenso del agua. Este modelo se creó utilizando la herramienta "*Simulated Water Level Rise/Flooding*".

Para la validación del modelo se realizó un segundo viaje de campo en abril del 2023, en el cual se tuvo como finalidad instalar cámaras de foto trampeo configuradas para *time-lapse* y realizar un taller con los ciudadanos. Todo esto fue posible gracias a la colaboración de la Municipalidad de SAO.

El taller consistió en que los ciudadanos marcaran en mapas de los distintos barrios de la ciudad de SAO las zonas que ellos reconocían que poseen problemáticas cuando la

marea se ve afectada por tormentas y sudestadas. Posteriormente, estos mapas fueron digitalizados en el *software* QGIS e interpretados como validación para los modelados obtenidos en Iber. Esto quiere decir, que sirvieron para corroborar cual sería el valor de una marea de sicigia afectada por sudestada y también si las zonas por donde el agua ingresa en Iber son las mismas que hoy en día.

Las cámaras fueron instaladas en tres puntos estratégicos que se obtuvieron considerando un primer modelado de SAO en Iber, la recopilación histórica de inundaciones realizada en internet y los resultados preliminares del taller realizado. Estos tres puntos son la zona de La Ría, Canal El Indio y Punta Verde. Estas cámaras fueron programadas para tomar fotos cada una hora desde las 8 a.m. hasta las 6 p.m., desde abril hasta septiembre del 2023, en este último mes la municipalidad de SAO retiró las fotos de las memorias de las cámaras y las volvieron a instalar, para seguir monitoreando las zonas por futuros trabajos. Las cámaras son un método de obtener datos en tiempo real de como el agua ingresa y llena los canales principales a lo largo de distintas condiciones de mareas y estaciones del año. Además, al poder comparar las imágenes obtenidas con los resultados de los modelados en Iber resuelven cuestiones principales de si las zonas consideradas con mayor vulnerabilidad, son problemáticas o no.

4. RESULTADOS

4.1 Modelo Digital de Elevación

Para el presente trabajo se obtuvo a partir de imágenes de VANT un MDE de 23 cm/px de resolución del sector oriental de SAO ([Fig. 9](#)).

Así mismo, se generó un ortomosaico de 11.7 cm/px de resolución ([Fig. 10](#)).



Figura 9. MDE de la ciudad de SAO.



Figura 10. Ortomosaico de la ciudad de SAO.

4.2 Simulación de la Bahía de San Antonio del cambio del nivel del mar en Global Mapper

En el programa Global Mapper, se llevó a cabo un modelado de la BSA utilizando un MDE con una resolución de 12.5 m/px. Este modelado se realizó con el propósito de comprender cómo es la entrada de agua en la bahía y obtener una primera noción del área. Puede observarse este modelado en la [figura 11](#).

La figura antes mencionada consta de tres escenarios. En la [figura 11 A](#), se muestra el ascenso de una marea de sicigia (MS) junto con tres niveles de marea diferentes: 0.2 m, 4.5 m y 9 m. Seguidamente, se presenta una comparación entre la MS y una MSS de 9.8 m ([Fig. 11 B](#)). Por último, se exhiben las dos curvas de nivel de inundación de una marea MS en comparación con una MSSRCP ([Fig. 11 C](#)).

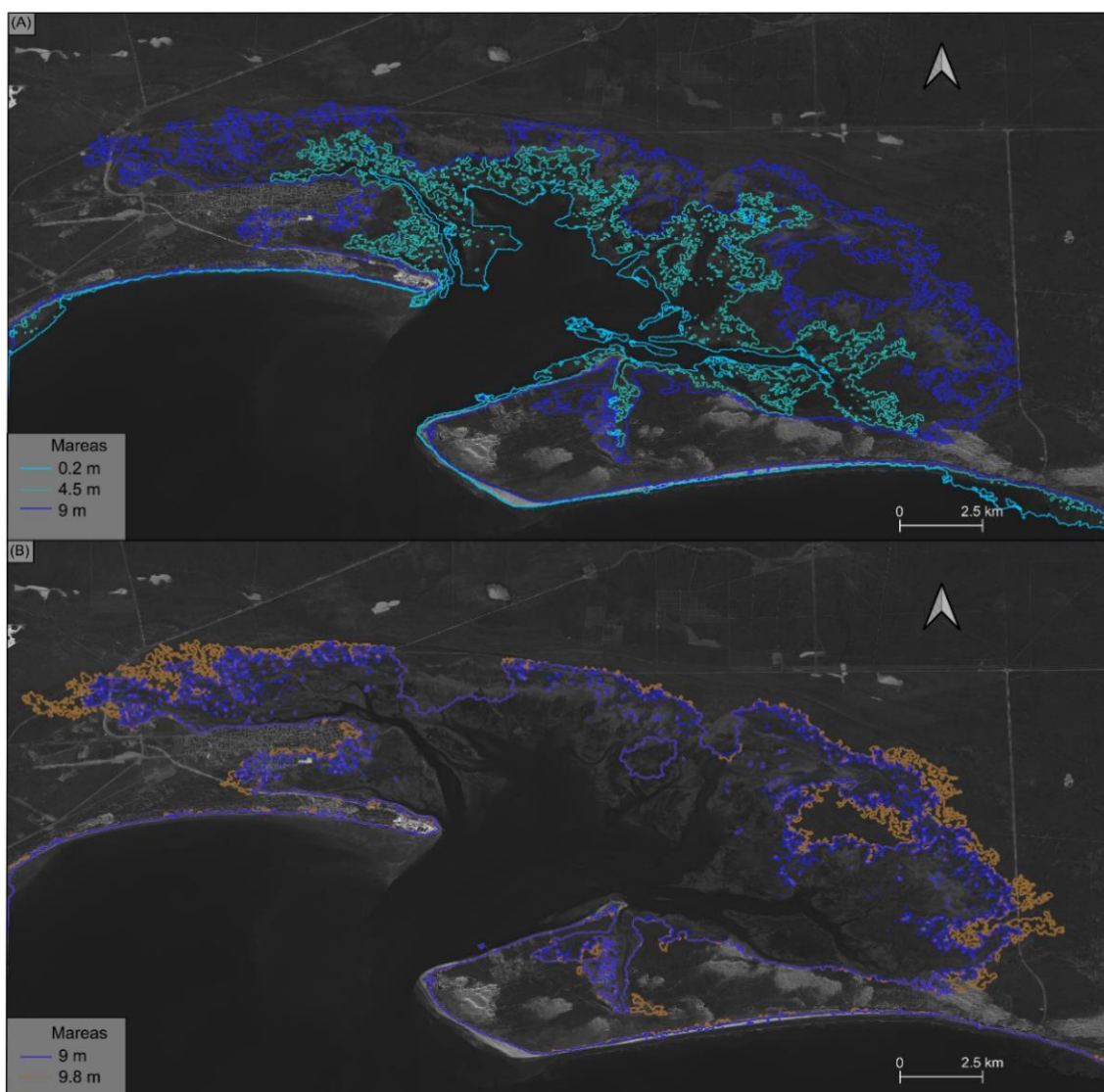


Figura 11. Modelado de la BSA en el programa Global Mapper. (A) Modelado de una marea actual. (B) Modelado de marea actual 9 m y marea extraordinaria 9.8 m. (C) Modelado de marea actual en comparación con una marea extraordinaria más el escenario RCP 8.5.

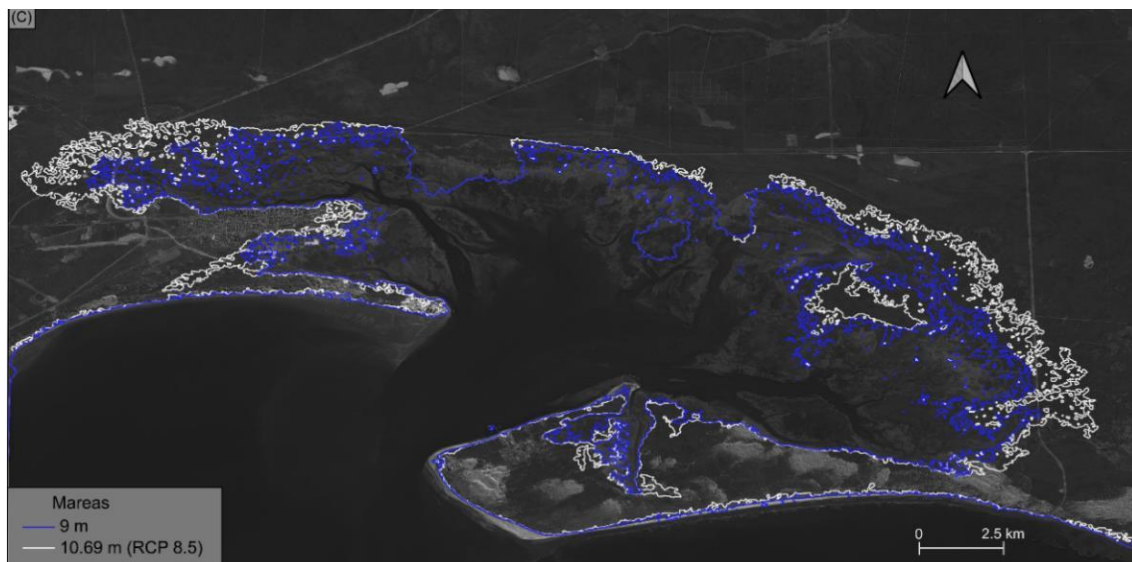


Figura 11 cont.

4.3 Taller comunitario en la ciudad de San Antonio Oeste

Para un mejor entendimiento a la hora de describir en las discusiones las zonas que se ven afectadas por inundaciones, se confeccionó un mapa del área oriental de SAO con los barrios y los puntos más importantes de la ciudad ([Fig. 12](#)).

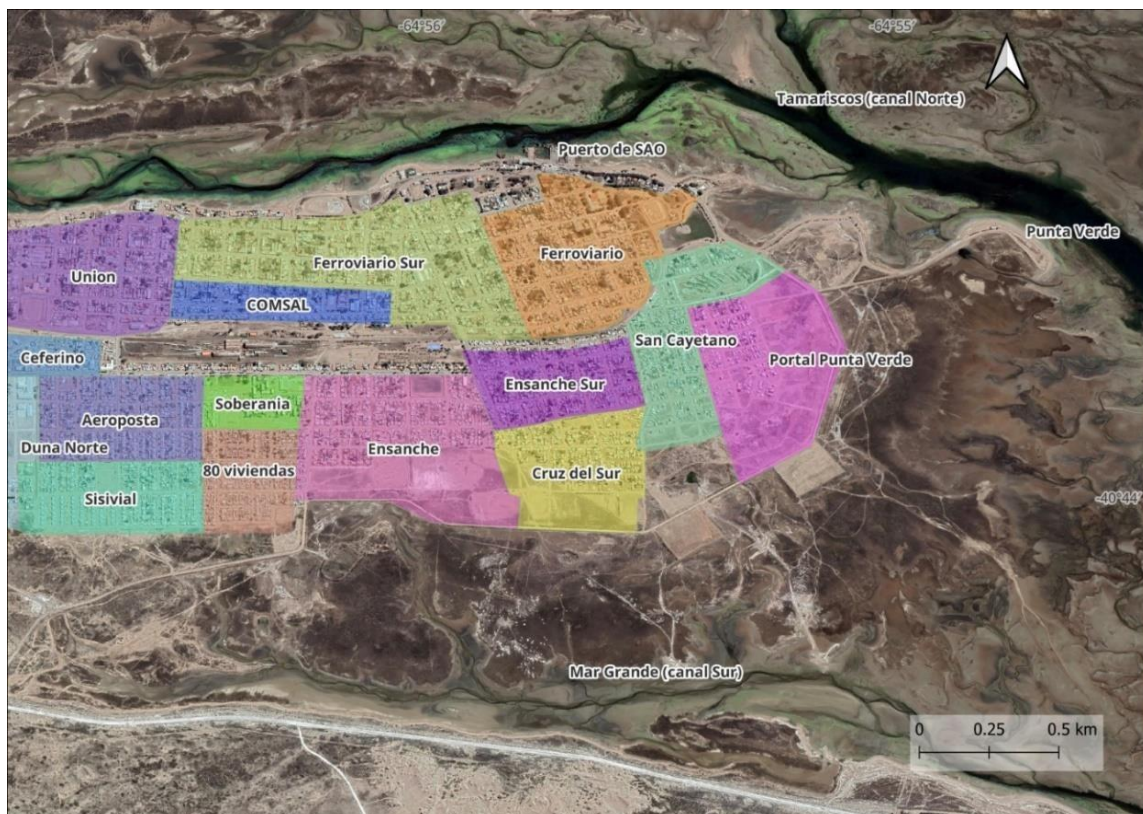


Figura 12. Mapa de la localidad de SAO donde se indican los nombres de los barrios de la ciudad. Tomado desde la página web del Municipio de San Antonio Oeste.

Al taller asistieron 30 adultos, todos mayores de 20 años, incluyendo trabajadores municipales, bomberos, maestros y ciudadanos con una larga residencia en la zona. La diversidad de edad en los participantes proporcionó datos necesarios para validar los modelos realizados con los programas IBER y Global Mapper, así como para concientizar a la sociedad sobre la importancia de habitar en una zona propensa a inundaciones.

En el taller los ciudadanos que asistieron debieron agruparse para trabajar en distintas zonas de la ciudad de SAO. En cada zona debían marcar en el mapa las áreas que ellos reconocían como inundables tanto en el pasado como en la actualidad, sin importar si ya no ocurren. Además, tenían otras referencias como acumulaciones por lluvia, construcciones de mitigación, escorrentías, sumideros, surgencias y tuberías. A partir de estos datos, se obtuvieron distintos mapas de la ciudad que muestran las zonas propensas a inundaciones con datos desde 1930 hasta la actualidad, además de resaltar áreas con problemas debido a construcciones de mitigación que afectaron a la ciudad. Es fundamental destacar que el mapa de zonas inundables construido por los residentes es crucial en este trabajo, ya que se utilizó para comparar y establecer un punto de referencia en cuanto a la precisión de los modelados obtenidos en los *softwares*. Estos mapas se usaron como fuente de corroboración, debido a que era una forma de comparar si el agua en el modelo ingresa por zonas que en la actualidad ocurre.

La [figura 13](#) corresponde a la zona Este de la ciudad, que parece ser la más susceptible a inundaciones. En esta área se observan inundaciones marinas, episodios de inundaciones pasadas, escorrentías y acumulaciones de agua de más de 50 centímetros. Además, existen obras municipales de mitigación, como muros o elevaciones de la autovía en la zona sur. La [figura 14](#) muestran la zona central de la ciudad, la cual presenta problemas comunes como escorrentías, surgencias y acumulaciones de agua. Por último, en la [figura 15](#), se representa la zona Oeste de la ciudad, donde se identifican escorrentías, acumulaciones de agua o de lluvia, sumideros y áreas que indican contaminación por plomo.

Finalmente, la [figura 16](#) muestra las inundaciones históricas en SAO en la zona Este, que se realizó con los datos del taller más la recopilación bibliográfica. Se destaca la calle Belgrano, donde las inundaciones fueron más frecuentes desde 1930 hasta 1992, aunque se observan variaciones en los años y las calles afectadas.

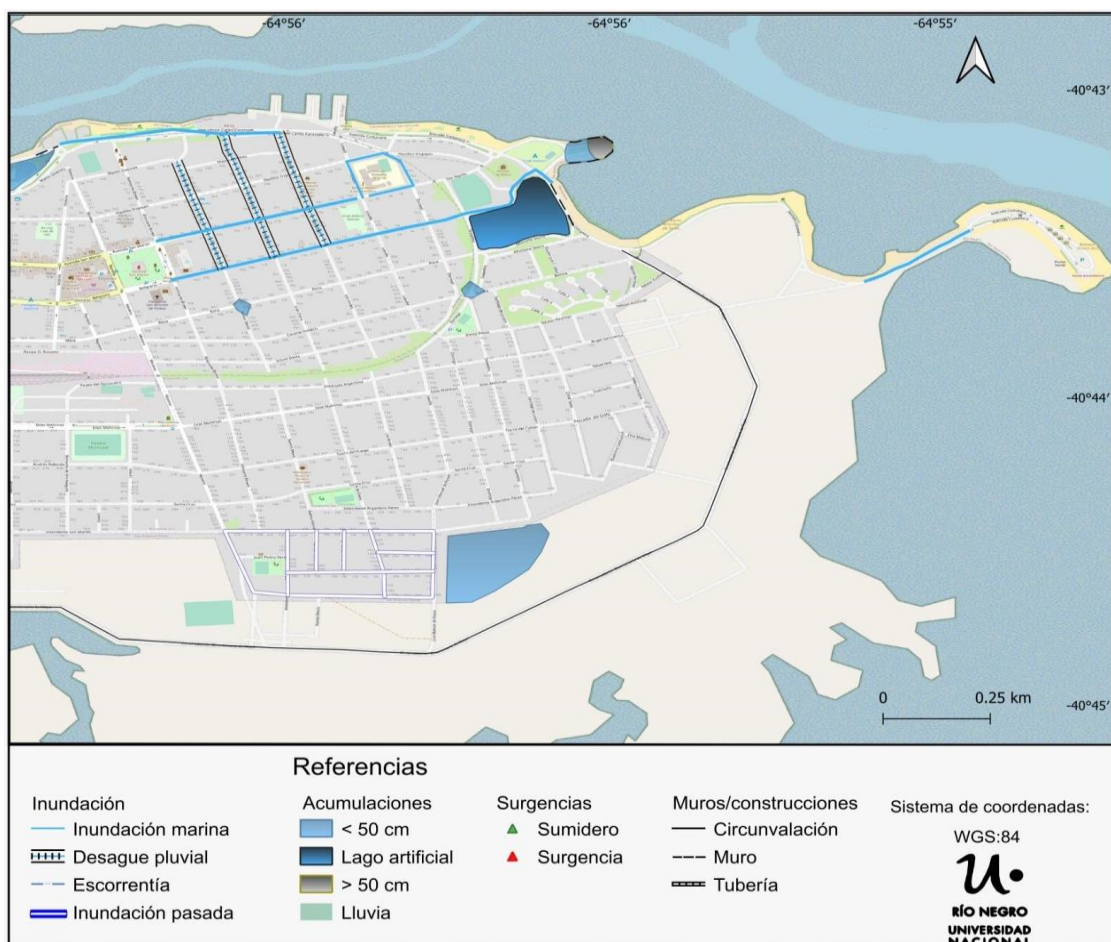


Figura 13. Mapa confeccionado en QGIS sobre la zona Este de la ciudad de SAO, los datos se obtuvieron en el taller.

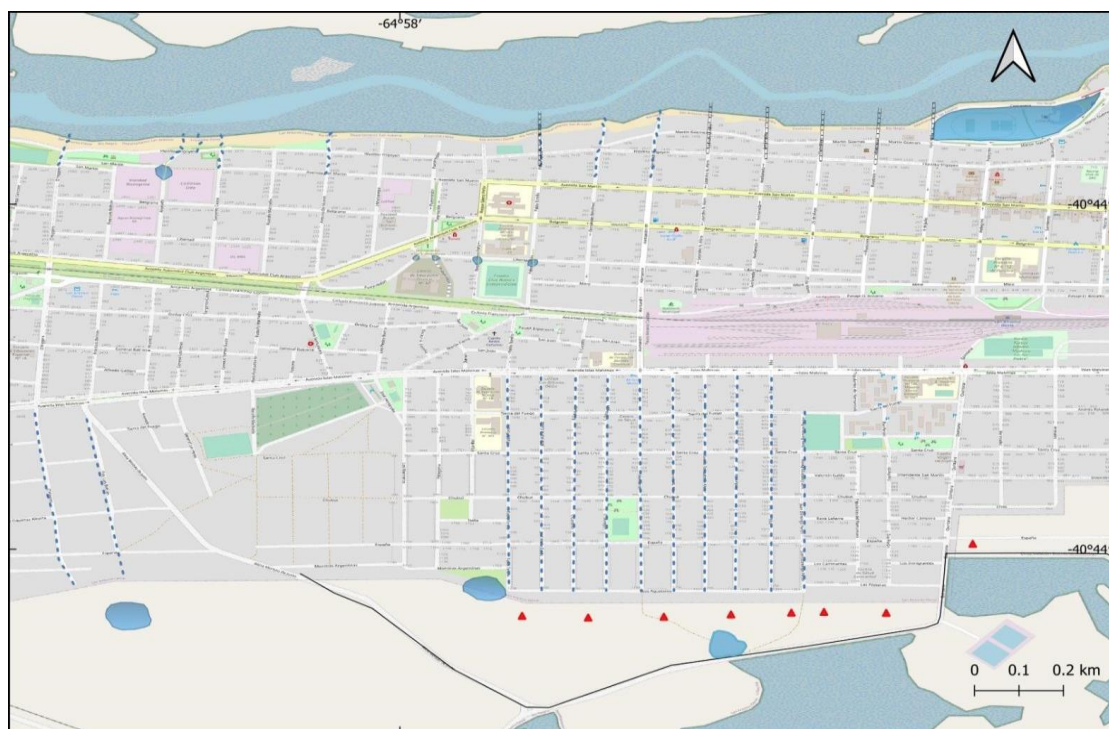


Figura 14. Mapa de la zona centro de la ciudad de SAO, el cual muestra las zonas más afectadas según los ciudadanos de la ciudad. Ver las referencias en la figura 13.

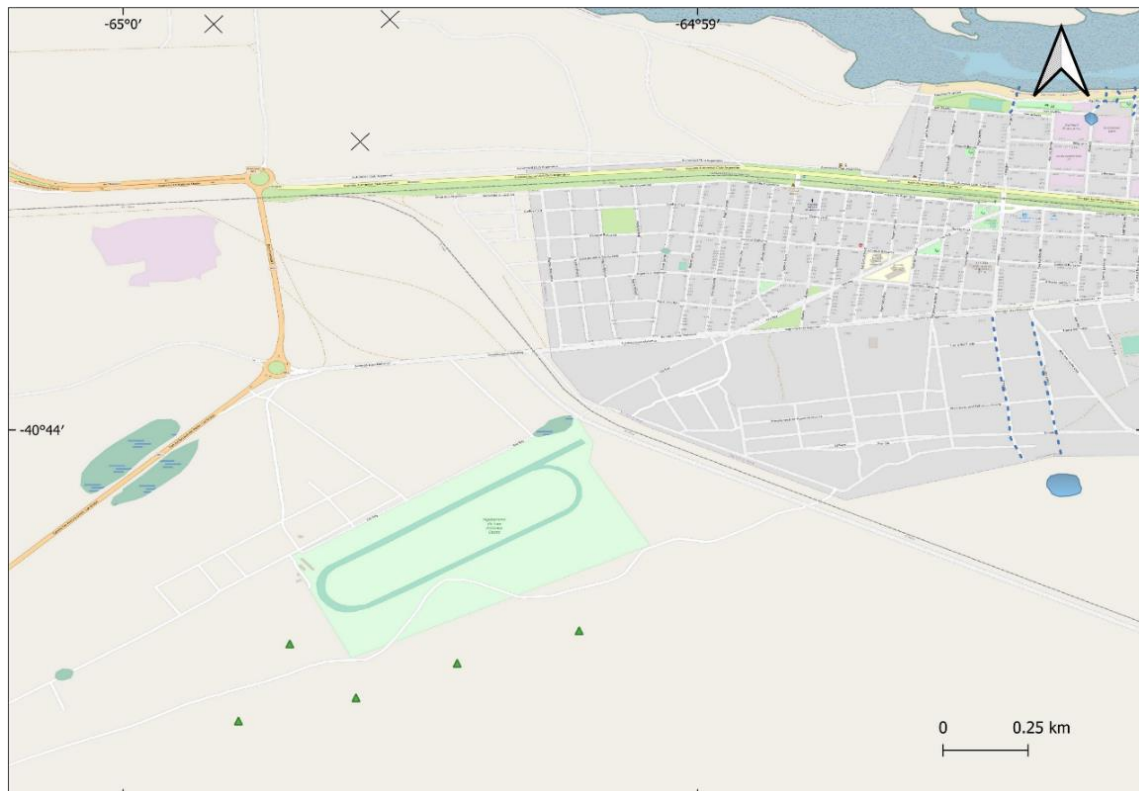


Figura 15. Mapa confeccionado a partir de los datos del taller sobre la zona Oeste de la ciudad de SAO. Ver las referencias en la figura 13.

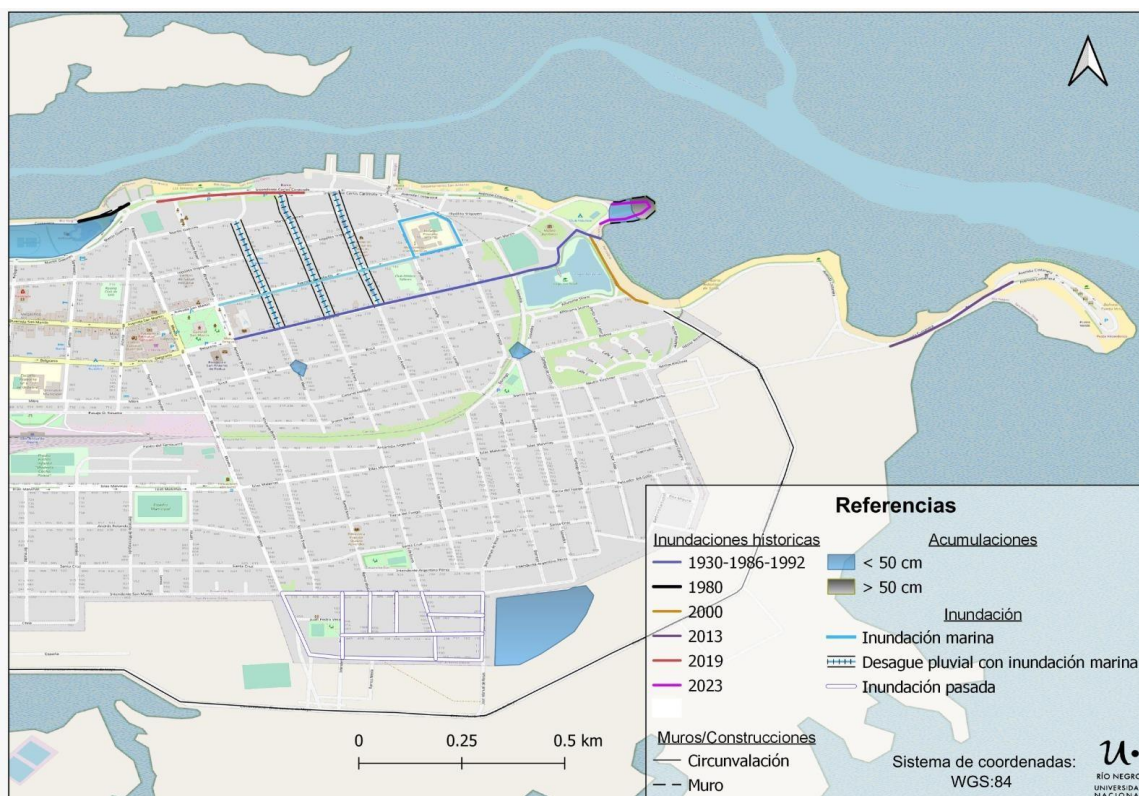


Figura 16. Mapa de inundaciones históricas de la zona Este de la ciudad de SAO, comprende inundaciones desde el año 1930 a la actualidad.

4.4 Instalación y monitoreo de cámaras

Durante el viaje a SAO en abril de 2023, se instalaron cámaras de *time-lapse* programables, comúnmente utilizadas en prácticas de foto-trampeo. Estas cámaras se ubicaron estratégicamente en SAO para capturar las áreas más vulnerables previamente identificadas mediante los modelos preliminares efectuados con Iber y de los mapas elaborados en los talleres. El objetivo era registrar cómo el agua ingresaba a la ciudad a medida que la marea aumentaba.

Las cámaras se instalaron en tres puntos estratégicos con enfoque en: 1. La Ría (canal Norte), 2. Punta Verde y 3. Canal del Indio (canal Sur) ([Fig. 17](#)).



Figura 17. Cámaras de *time-lapse* ubicadas en tres puntos estratégicos de SAO. En amarillo se puede ver el área de enfoque de 38° de la cámara. Los números hacen referencia a 1. La Ría, 2. Punta Verde y 3. Canal del Indio.

Estas cámaras fueron programadas para capturar una fotografía cada hora, desde las 8 a. m. hasta las 5 p. m., todos los días, durante un período previsto de un año, aunque se hizo una primera descarga a los cinco meses, desde el 21 de abril de 2023 hasta el 7 de septiembre de 2023. Las imágenes obtenidas se utilizaron como herramienta de documentación en caso de posibles inundaciones, proporcionando un respaldo esencial durante la validación y calibración de los modelos utilizados en nuestra investigación.

En la [figura 18](#), [19](#) y [20](#) se muestra la zona del Canal del Indio (canal Sur), Punta Verde y La Ría (canal Norte), respectivamente.

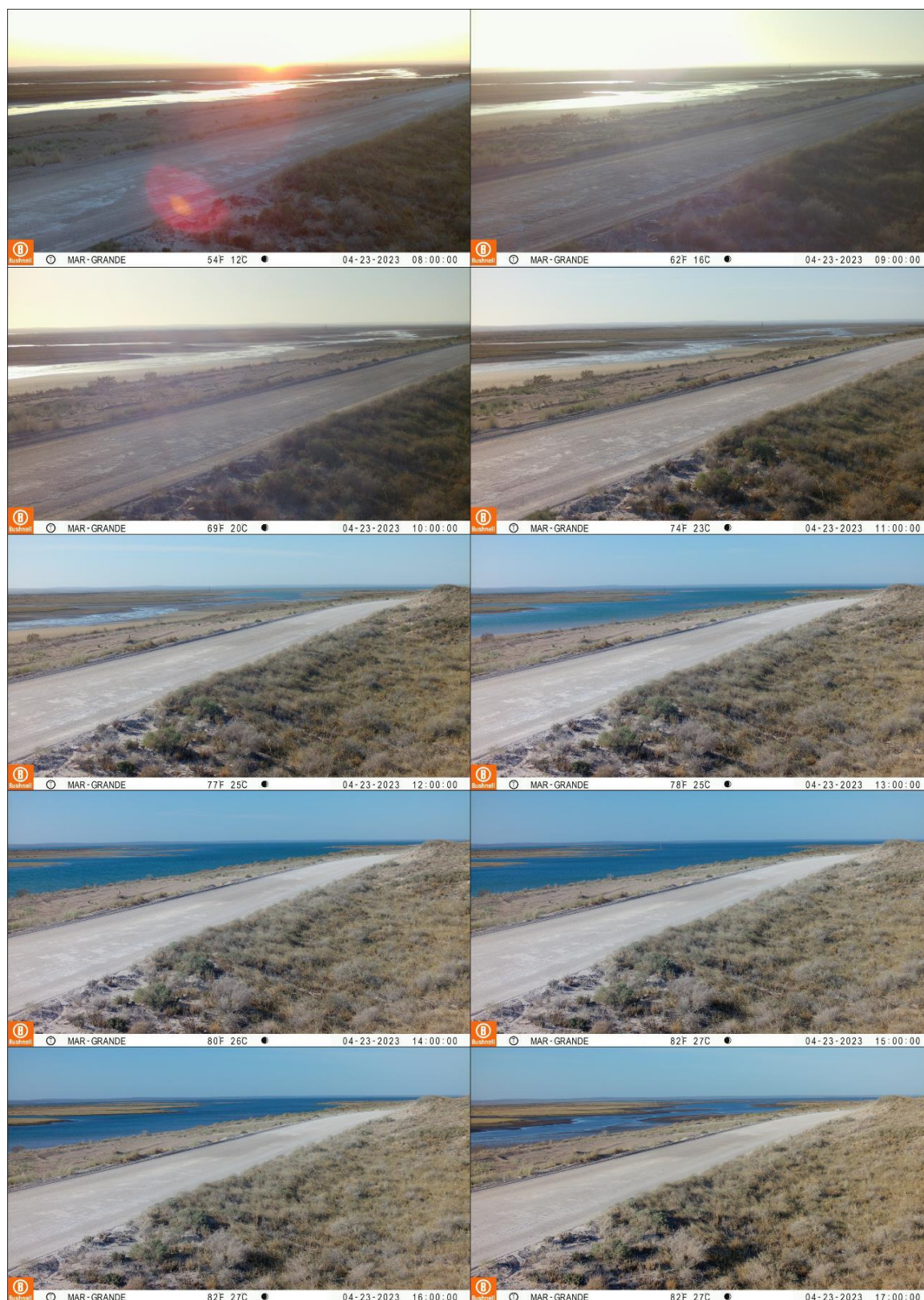


Figura 18. Secuencia de imágenes tomadas en la zona del Canal del Indio (canal Sur) de SAO. Según tabla de marea del día 23 de abril de 2023. Las imágenes fueron tomadas desde las 8 a.m. a las 5 p.m.

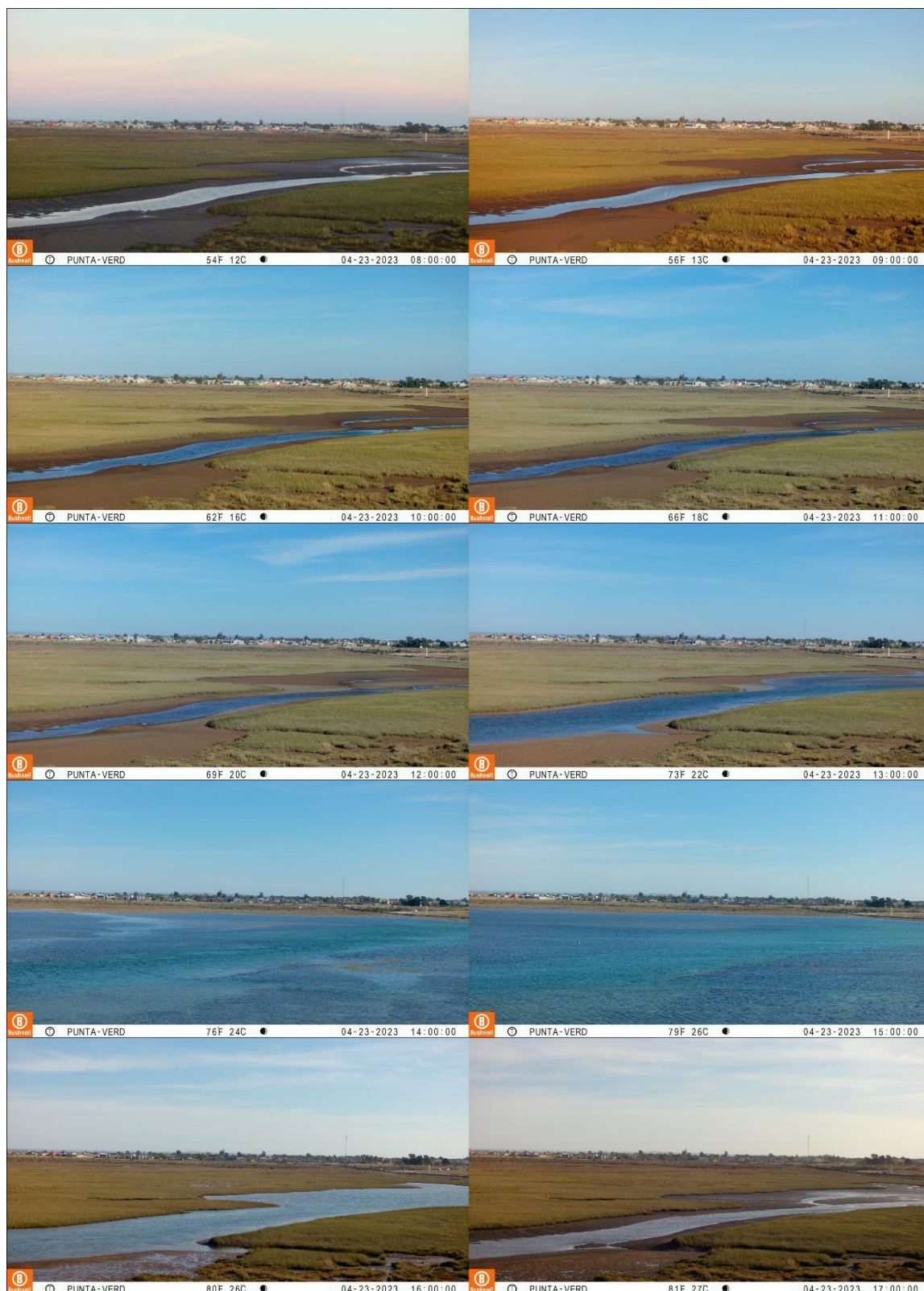


Figura 19. Secuencia de imágenes obtenida de la zona de Punta Verde en SAO. Según tabla de marea del día 23 de abril de 2023. Las imágenes fueron tomadas desde las 8 a.m. a las 5 p.m.

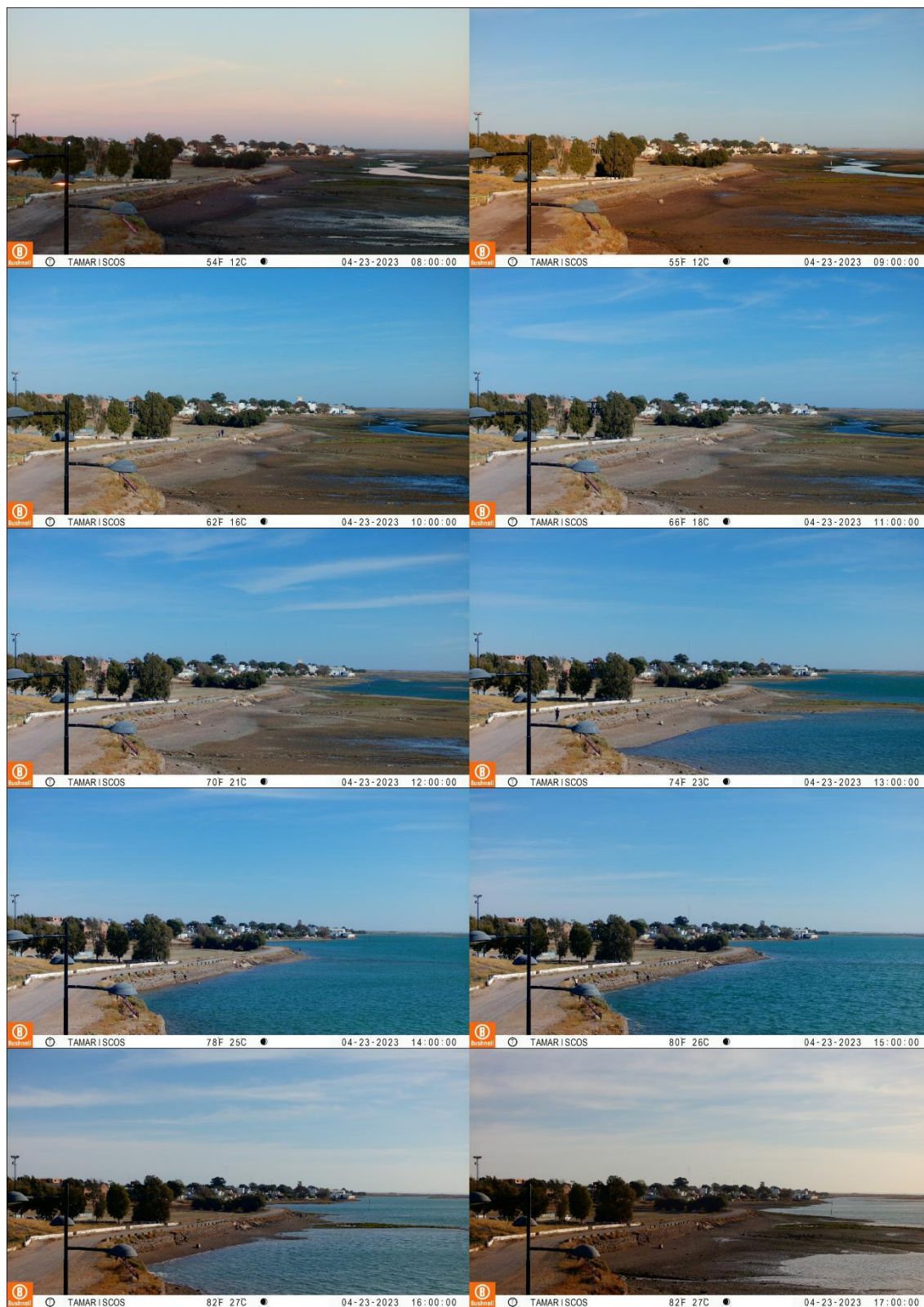


Figura 20. Secuencia de imágenes tomadas de la zona de La Ría (canal Norte) de SAO. Según tabla de marea del día 23 de abril de 2023. Las imágenes fueron tomadas desde las 8 a.m. a las 5 p.m.

4.5 Modelado del cambio del nivel del mar con Iber

En Iber, se han desarrollado diversos modelos que representan distintos escenarios de mareas, los cuales incluyen una MS igual a 7.3 m, una MSS, y, por último, la MSSRCP (Fig. 21). Siendo este último el modelo para el año 2100.

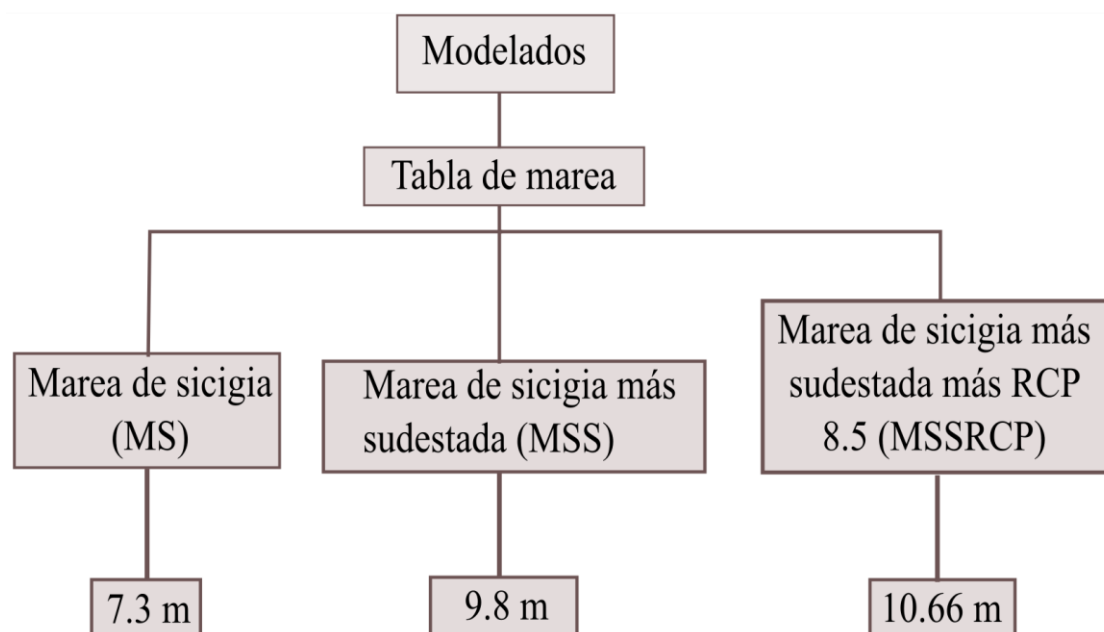


Figura 21. Flujo de trabajo de los distintos escenarios proyectados en Iber y Global Mapper.

Para la realización de la tabla de marea de SAO, fue necesario obtener el modelo de la BSA, ya que, en este, se identificaron dos canales principales, uno al sur y otro al norte de la ciudad. En la entrada de estos canales se colocaron dos sondas (puntos de control y seguimiento en el tiempo de una variable utilizando la herramienta "Gráficos" de Iber), lo que permitió obtener la onda de marea de cada canal (Fig. 22). Esta distinción resultó necesaria dado que la cantidad de agua que ingresa a cada canal es diferente, lo que a su vez permitió diseñar y preparar un modelo más parecido al proceso natural de entrada de agua en la BSA.

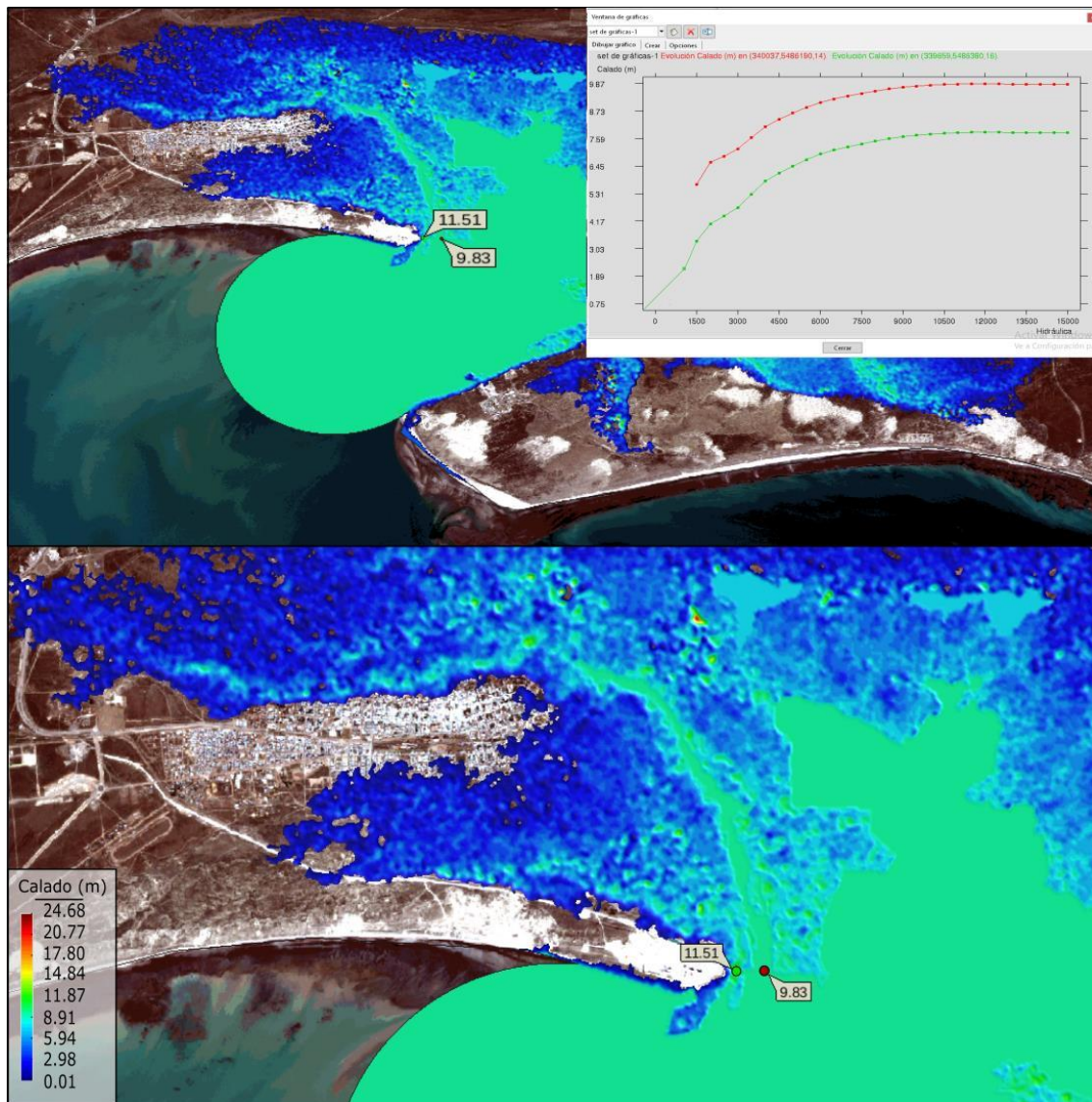


Figura 22. Puntos tomados en las bocas de los canales El Indio (verde) y La Ría (rojo), junto con la gráfica de las tablas de marea proporcionadas por Iber. La gráfica se puede ver en el [anexo 1](#).

En el programa Iber se cargó la imagen de fondo correspondiente a cada modelo y se generó la geometría que delimita las áreas críticas del entorno, como los canales de marea, la ciudad y las llanuras de inundación. En estas geometrías, se incluyeron las condiciones de entrada del agua, las condiciones iniciales de los canales y la rugosidad (Fig. 23 A). Luego, a partir de la geometría, se procedió a la discretización del modelo a través de la generación de una malla. Las mallas están formadas por elementos de diferentes tamaños, dependiendo de la resolución del MDE (Fig. 23 B). No obstante, para el MDE de SAO, que tiene una resolución de 23 cm/px, se tomó la decisión de trabajar con una malla de elementos de 1 m debido a costes computacionales.

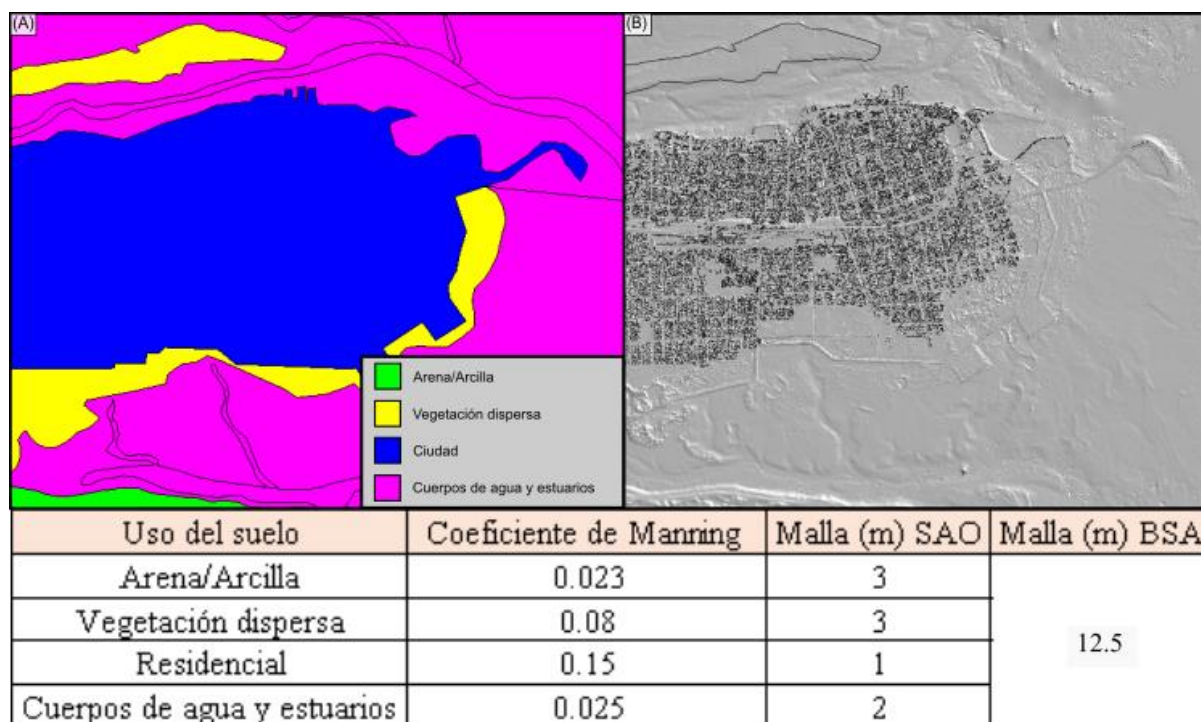


Figura 23. (A) Ciudad de SAO mostrando el parámetro rugosidad según usos del suelo utilizado en el *software* Iber. (B) Ciudad de SAO en Iber con la malla generada y el MDE cargado. En la zona inferior de la imagen vemos un cuadro sobre la rugosidad (Coeficiente de Manning) y el tamaño de mallado que se utilizó para cada modelado.

Los resultados obtenidos en el *software* Iber de SAO constan de un primer modelado ([Fig. 24](#)), el cual se realizó con un MDE de 23 cm/px de resolución y la tabla de marea del [anexo 1](#) que representa una marea de 7.3 m. En este se observa la cota de agua en un escenario de MS que representa lo que sucede hoy en día en condiciones de normalidad.

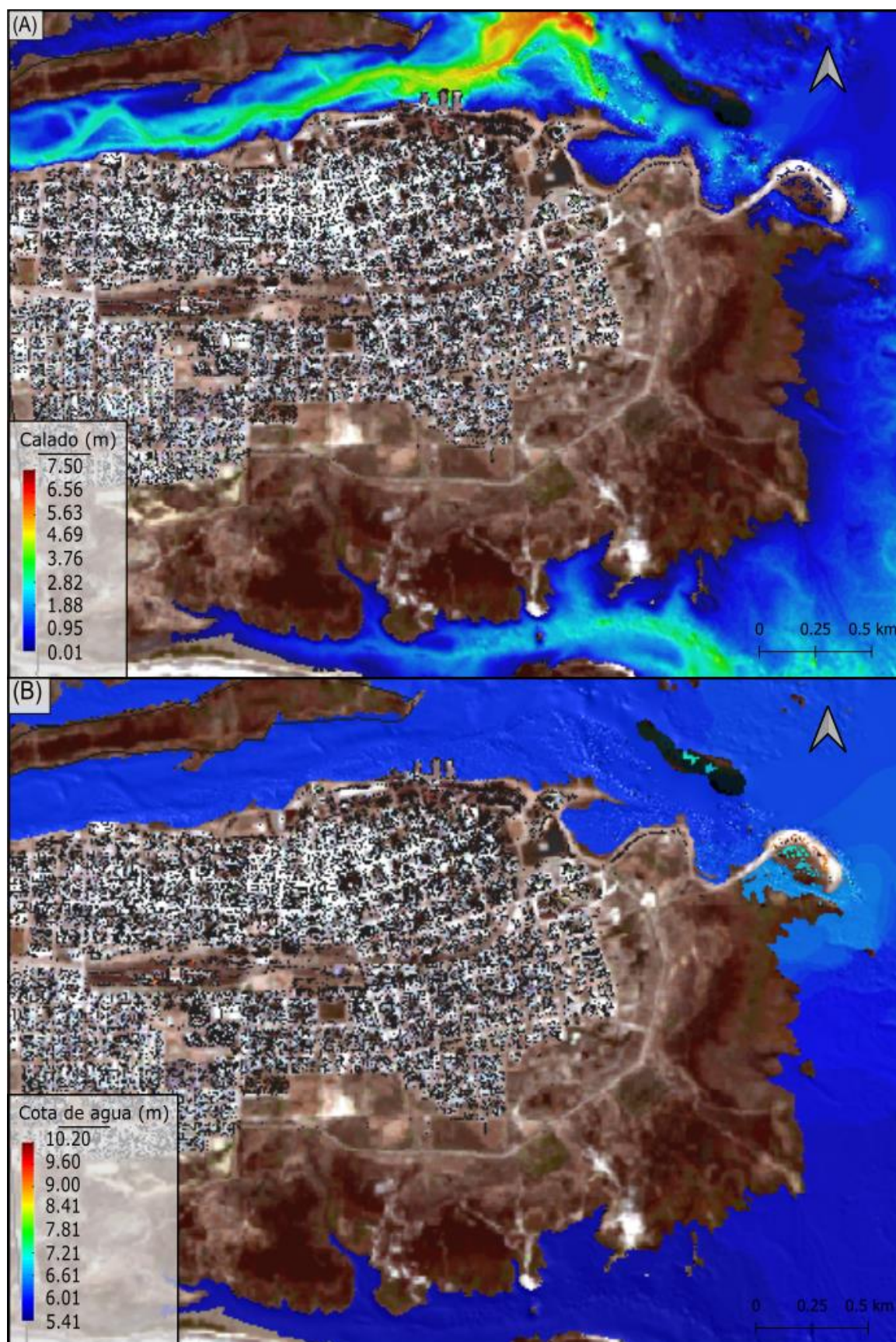


Figura 24. (A) Modelado en *software* Iber de SAO realizado con la tabla de marea del [anexo 1](#). Podemos ver que muestra el calado para el escenario MS. (B) Modelado de SAO en Iber para una MS mostrando los resultados de cota de agua.

En la [figura 25](#), podemos ver, en A, puntos tomados desde los resultados de cota de agua en el programa Iber en tiempos anteriores del modelado MSS, que muestra como el Camino Circunvalación se comporta como un muro impidiendo el paso de agua. En cambio, en B, estos puntos muestran los valores de elevación del camino y de las zonas adyacentes.

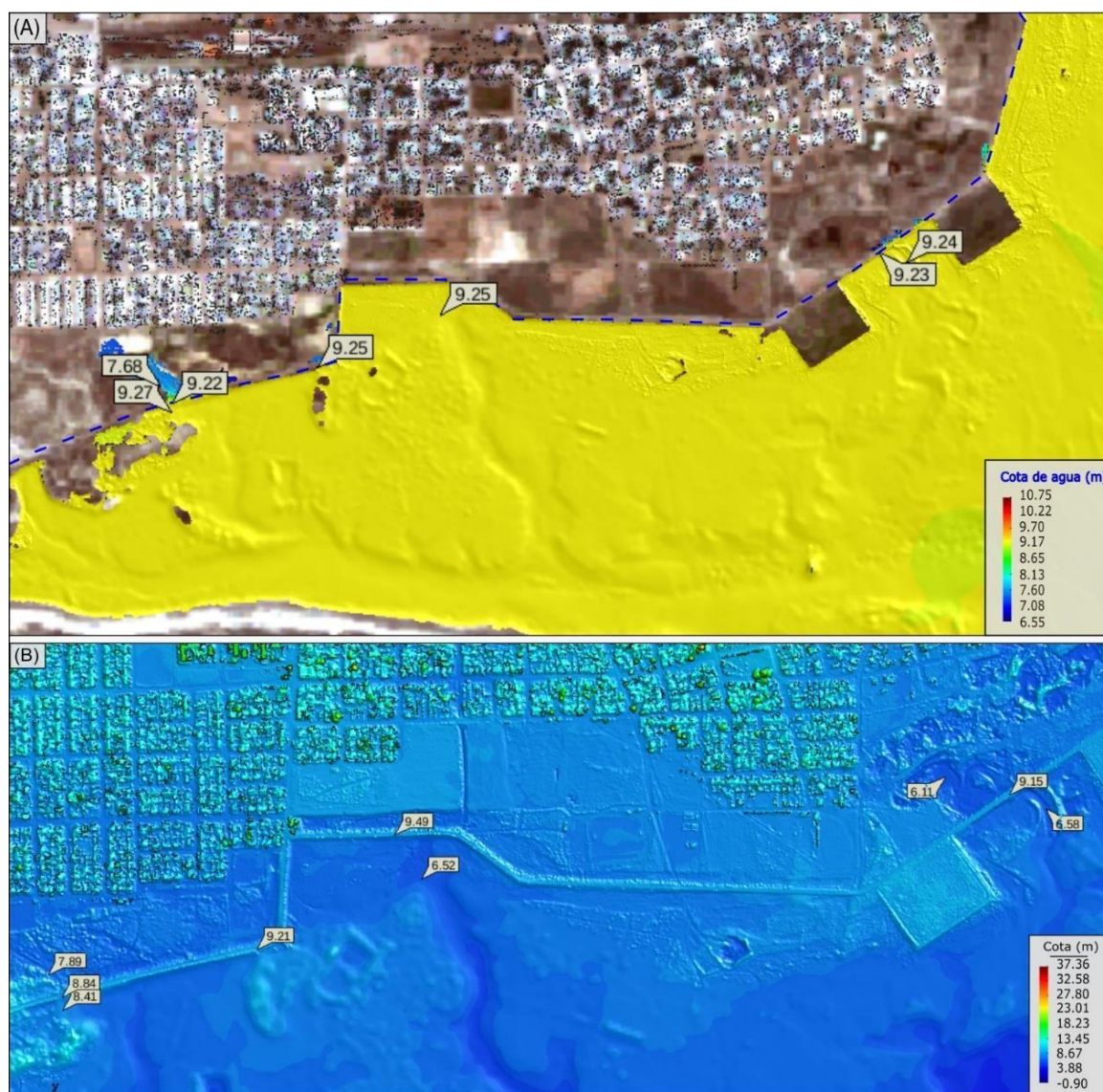


Figura 25. (A) Modelado en Iber de la zona Sur de SAO, donde se observa la cota de agua en puntos específicos que demuestran como el Camino Circunvalación se comporta como un muro. (B) Los mismos puntos que en A mostrando el valor de elevación en el MDE.

En la [figura 26](#), podemos ver en el programa Iber el modelado que corresponde a una MSS, se realizó con la tabla de marea del [anexo 1](#). Este modelado representa la situación de inundaciones que ya han sucedido a lo largo de la historia de la ciudad.

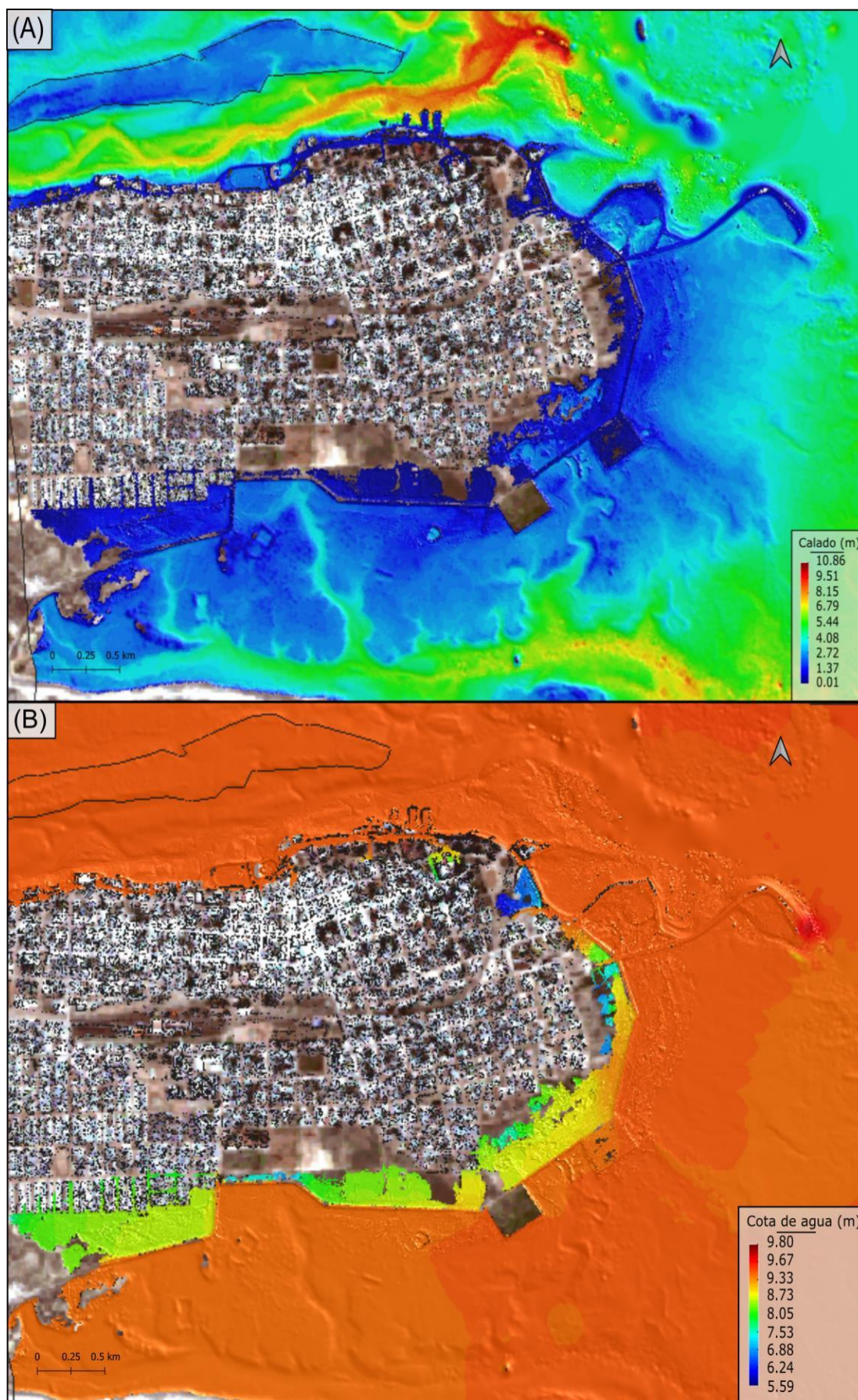


Figura 26. (A) Modelado en *software* Iber de SAO realizado con la tabla de marea del [anexo 1](#). Podemos ver que muestra los resultados de calado para el escenario MSS. (B) Modelado de SAO en Iber para una MSS mostrando los resultados de cota de agua.

4.6 Validación de los modelos en SAO en el programa Iber

Debido a la diversidad de tablas de mareas con diferencias en las alturas de las pleamares y bajamares, se decidió trabajar con el dato de marea del día que se realizó el MDE en la ciudad. El 27 de marzo a las 8.30 h se esperaba una pleamar de sicigia de 7.3 m ([anexo 1](#)), la altura fue corroborada en el MDE. Esto permitió obtener un dato de partida certero, para luego calcular cuánto aumenta una MSS.

Para obtener la validación del modelado MSS en SAO ([Fig. 27](#)), se realizó un segundo viaje de campo a la ciudad para conseguir datos de las zonas más vulnerables de la ciudad que suceden hoy en día en una MSS a partir de la comunidad.

Analizando la información obtenida en los talleres, se puede observar que el extremo oriental de la ciudad es la que presenta mayores problemáticas ([Fig. 13](#)). Queda evidenciado que en condiciones de marea extraordinaria las calles Belgrano, San Martín y J. M. Rosas se ven afectadas por inundaciones marinas. Además, las calles Ramos Mexía, 6 de Enero y Los Andes presentan tubos de desagüe pluvial, los cuales en las mismas condiciones de mareas, quedan expuestos permitiendo el paso del agua al interior de la ciudad.

Las acumulaciones en la ciudad suelen ser de distintas profundidades, para las que son < 50 cm se ven afectadas las calles que se interceptan en Ramos Mexía - Roca y Bolivia - Saavedra. Además, podemos ver que al Sureste del Barrio Cruz del Sur posee una extensa acumulación de < 50 cm de agua cuando asciende la marea, en el taller los ciudadanos de este barrio hablaron de su preocupación con respecto a esta zona. Además, de comentar que este mismo barrio presenta en todas las calles correspondientes a Moreno, Ramos Mexía, Intendente (Int.) Héctor Pueyo, 6 de Enero, Juan Manuel de Rosas, Int. José Luis Arburua, Juan Pedro Vera, Isaur Ernesto Ader e Int. San Martín, inundaciones que ocurrían en el pasado ([Fig. 13](#)), estas ya no ocurren debido a que el municipio de SAO tomó la decisión de elevar el Camino de Circunvalación, quedando en alturas de entre 9.15 m y 9.3 m ([Fig. 25](#)), que impide que el agua ingrese en mareas extraordinarias. Aunque cabe destacar que esta decisión tuvo efectos adversos al barrio Ensanche.

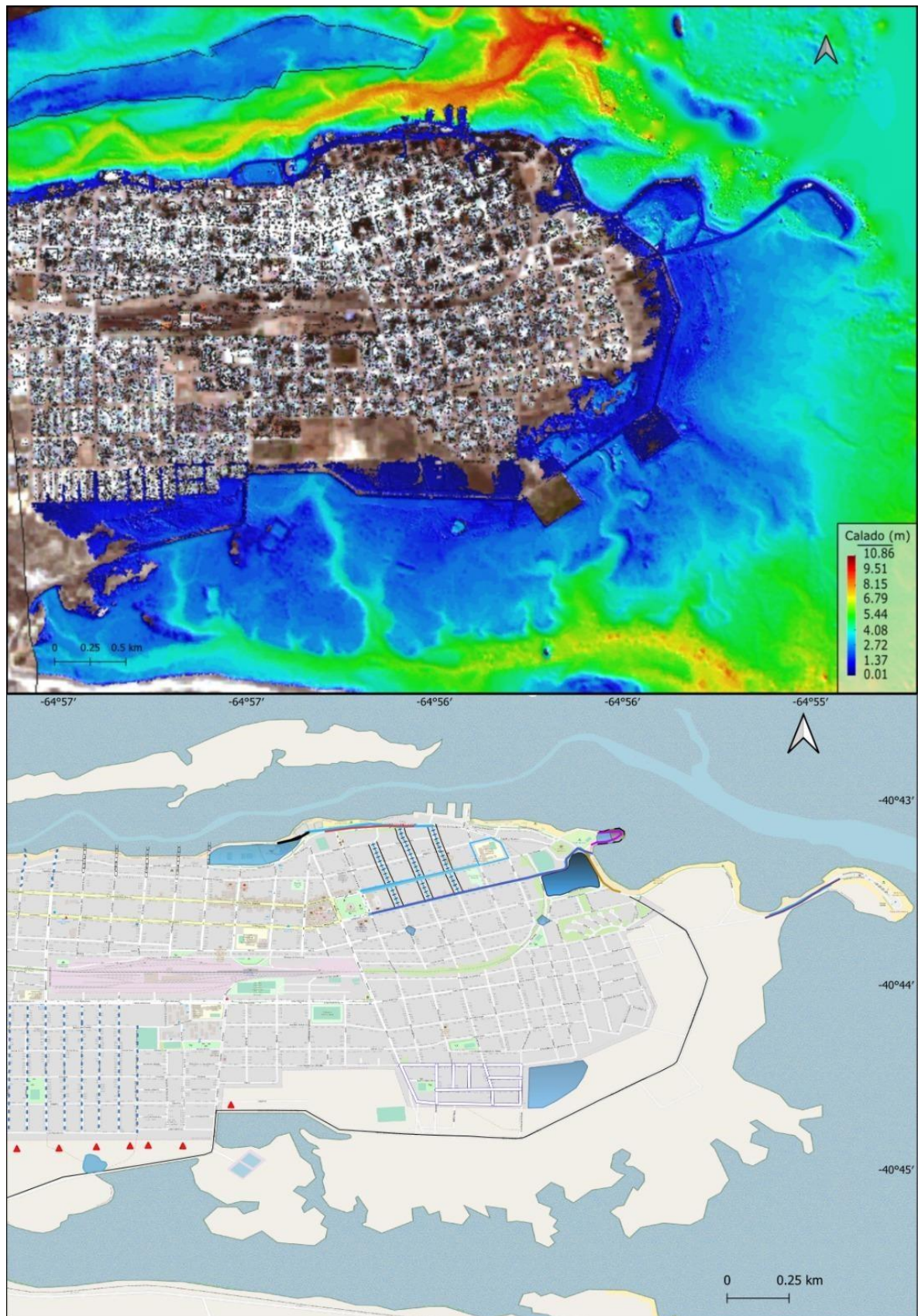


Figura 27. Comparación entre el modelado en *software* Iber mostrando resultados de calado para la ciudad de SAO y el mapa del taller, ver referencias en la figura 13.

Las acumulaciones grandes se ven en el lago artificial (Fig. 13), que trata de contener el agua del mar al ascender en mareas extraordinarias. Finalmente, la punta Noreste del lago artificial, donde se encuentra el “Club Nautico” presenta acumulaciones de > 50 cm al Este y al Oeste de < 50 cm.

La municipalidad opto por construir muros que se pueden ver en líneas punteadas negras (Fig. 13), estos se encuentran sobre la calle Camino de Circunvalación al frente del lago artificial debido a que la calle Belgrano presenta la mayor cantidad de inundaciones históricas registradas (Fig. 16). Seguidamente, en la zona del “Club Nautico” para contener las acumulaciones > 50 cm. Finalmente, en la calle 9 de Julio cerca del Anfiteatro Municipal de SAO.

En la zona oeste del mapa de SAO de los talleres, podemos ver que presenta escorrentía por la mayoría de las calles del Barrio Soberania, 80 viviendas, Aeroposta y Sisivial. En el taller los ciudadanos comentaron que debido a la elevación de la calle Camino de Circunvalación comenzó a infiltrarse agua por el barrio 80 viviendas y Sisivial, el cual en el mapa presenta problemas de surgencias. También en la figura 14 vemos acumulaciones de agua de < 50 cm en Los Aguateros - Pablo Torello y San Martin - Alvarado. Además, de todas las intercepciones entre Libertad con Pablo Torello, Roque Sáenz Peña y Pueyrredón.

Por último, la instalación de las cámaras sirvió para obtener una secuencia de imágenes de tres puntos críticos de la ciudad. Estos puntos fueron elegidos de un primer modelado en Iber, el cual mostraba que en las tres zonas el agua inundaba de manera catastrófica. Al conseguir imágenes diarias permitió ver el comportamiento de los canales y el agua en distintos días y estaciones (otoño, invierno y primavera). Además, que se pudo resolver algunas de las preguntas iniciales, como, por ejemplo, la posible existencia de un desfasaje en el tiempo de llenado de los canales.

El primer punto, llamado Canal del Indio (Fig. 18), enfoca al canal Sur de la ciudad, donde se necesitaba comprobar si el llenado de esa área era posterior al llenado del canal Norte, ya que este dato fue brindado por los participantes del taller y se observa en imágenes satelitales. Además, es una zona que se encuentra seca cuando se la recorre a pie, pero rodeada por canales antiguos que se visualizan en imágenes. La mayor preocupación se encuentra en que los modelados demuestran extensos y problemáticos llenados para un futuro en esta área, o que los ciudadanos hablan de grandes infiltraciones en las calles de los barrios Cruz del Sur y/o Aeroposta.

El segundo punto, Punta Verde, se instaló la cámara que enfoca a los canales hacía al Oeste ([Fig. 19](#)), entendiendo mejor la dinámica de la bahía y para monitorear nuevamente como se comporta el movimiento del agua en esa área antes de llegar al canal Norte. Además, por ser una zona de gran interés turístico que se ve afectada constantemente por inundaciones ([Fig. 16](#)).

El tercer punto corresponde al canal Norte ([Fig. 20](#)), llamado La Ría, en esta área se pretende controlar como el agua llena el canal debido a que las inundaciones más complicadas como la del año 2019 la cual traspaso la elevación natural de la ciudad e inundó la Av. Costanera. Además, el *software* Iber y los talleres demostraron que en esta zona hay grandes problemáticas en la actualidad y para el futuro, ([Fig. 27](#)).

5. DISCUSION

Como se observa en los resultados, se llevaron a cabo dos modelados utilizando el programa Iber para dos escenarios de mareas de tipo MSS y MSSRCP de la ciudad de SAO ([Figs. 26, 29](#)). El primer modelo representa las inundaciones actuales en condiciones de sudestada, mientras que el segundo ofrece una proyección de las inundaciones para SAO en el año 2100, considerando el peor escenario posible.

En el caso del modelado de MSS, se evidencia que el avance del agua sigue un patrón similar al observado en la actualidad ([Figs. 26, 27](#)). Se puede apreciar que el agua inunda por completo áreas como Punta Verde, los puertos, el lago artificial, el área de skate y las canchas de la ciudad en la zona Sur ([Figs. 26, 27](#)). Este modelado muestra el ingreso de agua en dirección sur por las calles F. Beschedt, P. Torello, Av. R. S. Peña, Pueyrredón, J. Monzategui, A. de Vicenzi, R. Machiello, S. Cabral y S. Martin. Además, la calle Gral. Guemes y Av. Costanera se encuentran completamente inundadas. Por otro lado, se ven afectadas las secciones iniciales de las calles Victoria, 6 de enero, Dorrego, Lavalle e H. Yrigoyen en la zona de los puertos, así como la calle Roca desde el lago artificial ([Fig. 26](#)).

En la zona sur de la ciudad, se observa que el agua atraviesa la calle Camino de Circunvalación, la cual tiene una elevación artificial realizada por el municipio de entre 9 y 9.3 metros ([Fig. 25](#)). Es importante señalar que, durante el taller comunitario, los ciudadanos destacaron que, a pesar de los esfuerzos por elevar el Camino de Circunvalación, el agua se infiltra por este muro hacia el Barrio 80 Viviendas ([Figs. 25,](#)

26). Además, en condiciones de mareas extraordinarias, el agua logra sobrepasar el muro e inundar el Barrio 80 Viviendas y Sisivial, aunque cabe mencionar que estas mareas son de baja frecuencia en la actualidad.

La [figura 26](#) tiene como objetivo mostrar diferentes puntos de interés al comparar los valores de la cota de agua en (A) y las elevaciones del MDE en (B). Inicialmente, se destaca la elevación del Camino de Circunvalación, que se sitúa en alturas mayores a 9.15 metros en la zona sur de la ciudad. En la zona de las canchas, las alturas de la autovía, representadas por la línea azul punteada, alcanzan los 9.15 metros ([Fig. 25 A, B](#)), mientras que el canal de marea que rodea el Camino de Circunvalación alcanza alturas de 6.11 metros y 6.58 metros ([Fig. 26 B](#)). En este momento, el agua no ha logrado ingresar al Barrio Cruz del Sur debido al tiempo seleccionado para representar este suceso ([Fig. 25 A](#)). Por otro lado, en el canal de marea de la zona oeste, donde se observan inundaciones, presenta una elevación de 8.84 metros, ya que en esa zona se encuentra la bajada del camino a un barrio. Este valor difiere de las alturas superiores a 9.15 metros presentes en los puntos ([Fig. 25 B](#)). Debido a esta disminución en la altura, es posible observar en ese momento que el agua ha alcanzado la altura suficiente para superar el camino y comenzar a inundar el barrio.

Cabe destacar que el modelo de MSS de la [figura 26](#) se corrobora con los mapas de inundabilidad de los talleres de la [figura 13, 14, 15 y 16](#), donde se puede observar que las zonas afectadas son consistentes tanto con el modelado en Iber como con los datos obtenidos por los ciudadanos ([Fig. 27](#)). El taller fue de suma importancia para recoger la opinión local y validar el modelo en Iber. Estos datos nos proporcionaron una primera impresión del estado en el que se encuentra la ciudad de SAO en una MSS, identificando las áreas más vulnerables y las que cuentan con mayores medidas de resguardo. Además, se pudo confirmar cuáles son las zonas que requieren mayor atención en un modelado en Iber, es decir, las áreas donde actualmente se registra la entrada de agua, como el Camino de Circunvalación, el Barrio Cruz del Sur, Punta Verde, así como las calles Gral. Guemes y Av. Costanera ([Fig. 27](#)). Se podría inferir que los modelos hidráulicos pueden representar de manera precisa la realidad actual, respaldándose con los resultados obtenidos en los talleres.

Además, con los datos obtenidos en el taller y en la recopilación histórica de inundaciones, se confeccionó el mapa de la [figura 16](#), el cual muestra en diferentes colores las inundaciones más significativas de la ciudad. Se destacan las inundaciones de los años 1930, 1986 y 1992, de las cuales solo se obtuvo información de internet e imágenes para

el año 1930; sin embargo, las demás fueron corroboradas por un participante del taller que presencié dichas inundaciones. Otras inundaciones notables son las del año 1980 y 2019, donde el agua ingresó y se acumuló en la calle Carlos Carassale.

Debido a que los datos de las pleamares son variados según cada tabla de mareas, ya que esta se estima en puertos lejanos, al obtener un modelado en Iber correlacionado con los talleres de SAO, se pudo estimar un posible valor de marea en una MSS. Esto se logró aumentando el valor de la marea inicial del modelado MS de 7.3 metros, hasta hacer coincidir este modelado con los mapas de los talleres que representan una MSS ([Fig. 27](#)). En este modelado, se obtuvo que el mayor valor de una marea de MSS que ha sucedido en SAO es de 9.8 metros. Este valor es meramente inferido y necesitaría ser corroborado con un mareógrafo para obtener la verdadera onda de marea para la ciudad. Además, cabe destacar que, a partir de los 9 metros, la marea comienza a ingresar por la ciudad, representando múltiples escenarios que ya han ocurrido a lo largo de la historia en mareas extraordinarias, como se constata en los talleres. Es decir, el valor de una pleamar afectada por sudestada puede encontrarse a partir de los 9 metros ([Fig. 28](#)).

Por otro lado, en el modelado para el año 2100 que tiene en cuenta el cambio climático junto con las MSS ([Fig. 28](#)), se observa que el avance del agua persiste desde las zonas mencionadas anteriormente en la [figura 26](#). Es decir, se extiende principalmente por las áreas orientales de la ciudad, abarcando los barrios Ferroviario Sur, COMSAL, Portal Punta Verde, San Cayetano, Ensanche Sur, Cruz del Sur, Ensanche, Soberanía, 80 Viviendas, Sisivial, Aeroposta y Duna Norte. La única zona que no es vulnerable es el barrio Unión ([Fig. 29](#)).

En este modelado, se puede apreciar en la zona norte que el agua continúa a lo largo de la calle Av. Costanera, que es la continuación de Gral. Guemes, inundando todas las calles perpendiculares. El agua no solo afecta las calles mencionadas anteriormente, sino que abarca toda el área noreste de la ciudad. El nivel de agua en esta área muestra un calado de menos de 1.45 m ([Fig. 29](#)). Aunque hay zonas con un calado mayor, como el lago artificial donde el agua alcanza los 5.77 m.

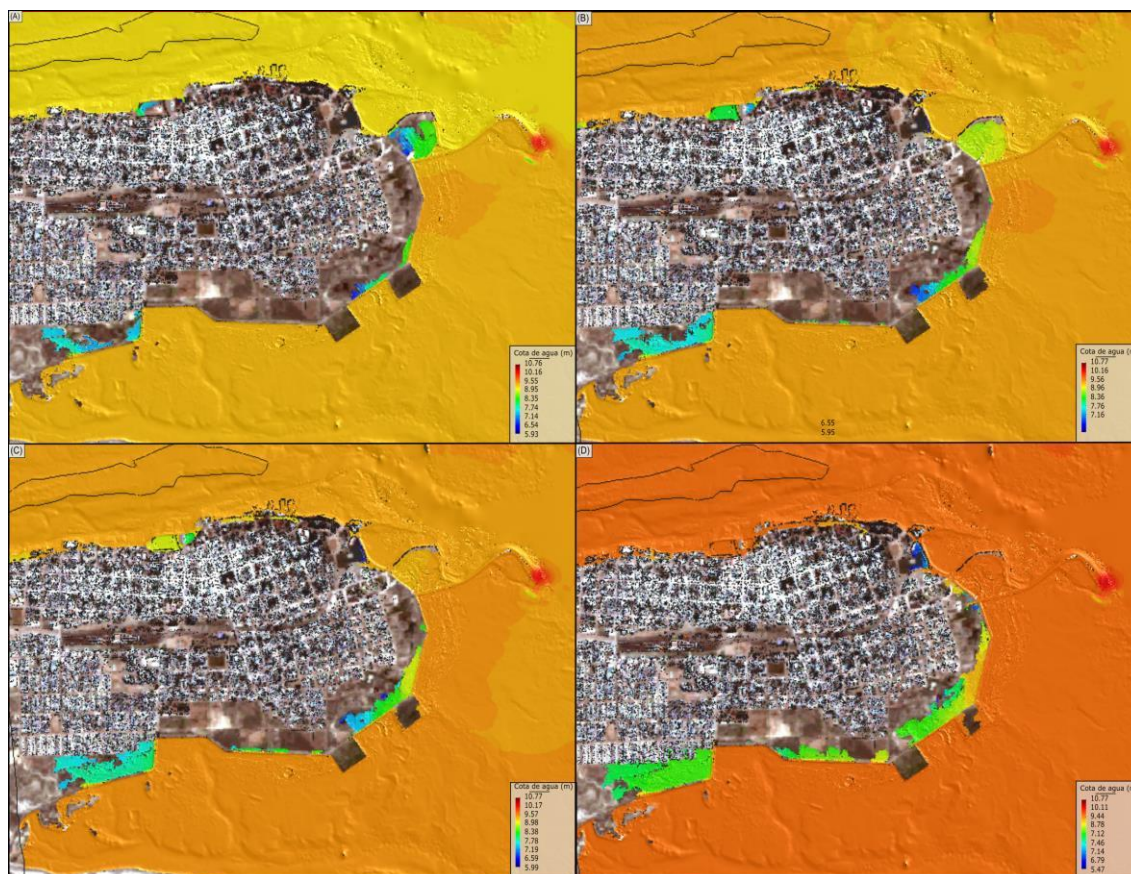


Figura 28. Modelado en Iber de diferentes momentos de una MSS a medida que ingresa el agua. En (A) la marea es de 9 m, (B) la marea es de 9.3 m, (C) Marea de 9.5 m y en (D) Marea de 9.7 m.

En la zona sur de la ciudad, la [figura 29](#) ilustra cómo el agua inunda todos los barrios de esta región, también con valores de calado de menos de 1.45 m, similar a la zona norte, excepto en las áreas de los canales que rodean las canchas al este del mapa, donde se registran valores de calado de menos de 4.33 m. Queda evidenciado que elevar el Camino de Circunvalación a valores superiores a 9.15 m no constituye una solución viable para el año 2100, ya que el agua llega hasta la calle Islas Malvinas. Es importante recordar que, en el taller de SAO, los ciudadanos mencionaron los problemas existentes en el barrio Cruz del Sur, ya que, antes de la elevación del camino, se inundaba por completo durante mareas extraordinarias ([Figs. 13, 29](#)). Es decir, para el futuro, es probable que este barrio vuelva a ser vulnerable.

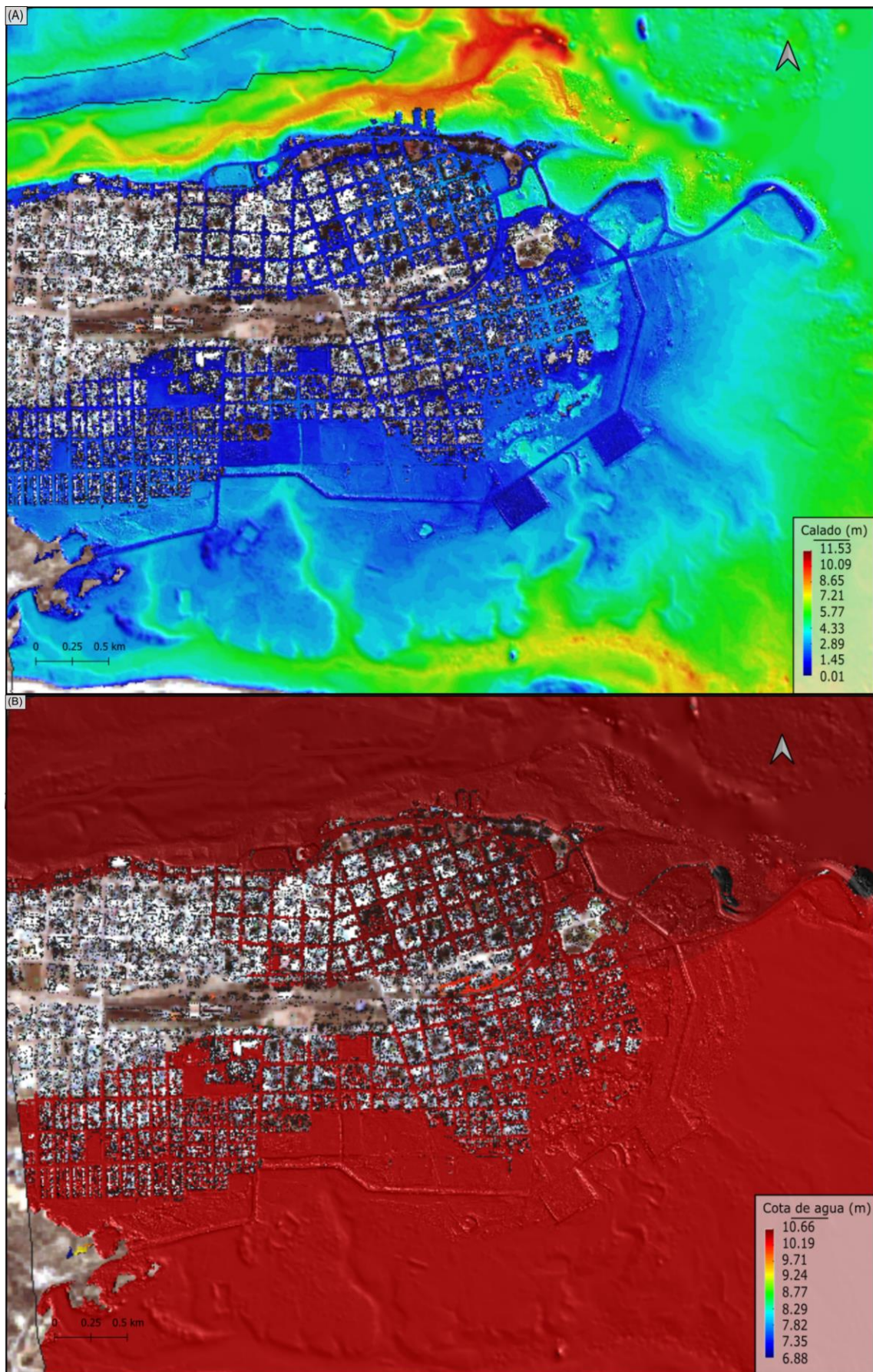


Figura 29. (A) Modelado en *software* Iber mostrando resultados del calado para el año 2100 de la ciudad de SAO. (B) Modelado en *software* Iber de SAO. Podemos ver que muestra la cota de agua para el año 2100. Ambos modelos fueron realizados con la tabla de marea del [anexo 1](#).

Como se mencionó anteriormente, los modelos generados para este TFG fueron desarrollados utilizando dos programas distintos: Global Mapper e Iber. Estos revelaron una serie de discrepancias que merecen discusión ([Tabla 2](#)). En primer lugar, Iber efectúa modelados numéricos de flujos, mientras que Global Mapper lleva a cabo simulaciones de inundaciones, determinando así un nivel máximo de inundación a partir de una línea. En segundo lugar, ambos programas requieren un MDE para obtener resultados precisos que se asemejen a la realidad. Sin embargo, se evidenció que Iber puede calcular sobre un MDE con una resolución de 23.4 cm/px, mientras que Global Mapper no pudo completar la simulación. Este último aspecto resalta que, a mayor resolución del MDE, Iber demanda más tiempo de cálculo, a diferencia de Global Mapper, cuyos tiempos de cálculo son más rápidos al utilizar una resolución menor en el MDE.

Tabla 2. Diferencias entre los programas Iber y Global Mapper.

	Iber	Global Mapper
Resolución de MDE	>	<
Variables	>	<
Tiempo de calculo	>	<
Representación de resultados	Trayectoria del flujo	Maximo de nivel de inundación
Detalle de resultados	>	<
Mitigaciones	Posible	Posible

En tercer lugar, es importante destacar que tanto Global Mapper como Iber pueden proporcionar resultados utilizando un conjunto limitado de variables. En el caso de Global Mapper, estas variables se reducen al MDE y la altura inicial de inundación. Por otro lado, Iber, además del MDE, requiere condiciones de contorno y condiciones iniciales para realizar sus cálculos. Sin embargo, la distinción clave entre ambos radica en la flexibilidad que ofrece Iber para incorporar una variedad de variables adicionales según las necesidades del modelador. Estas variables pueden incluir rugosidad, viento, turbulencia, elementos estructurales como puentes, diques y alcantarillas, así como ajustes relacionados con el tiempo de modelado y modos de visualización. En resumen, Iber brinda una gama más amplia de opciones para presentar y adaptar los resultados de acuerdo con las preferencias del usuario.

Finalmente, es importante mencionar que tanto Global Mapper como Iber tienen la capacidad de incorporar medidas de mitigación mediante la modificación de alturas en el MDE para simular la presencia de estructuras como muros o vegetación que puedan influir en el comportamiento de la inundación. Esta funcionalidad permite a los usuarios explorar diferentes escenarios y evaluar estrategias de mitigación de manera más precisa. Sin embargo, es importante destacar que, en el contexto de este trabajo, las mitigaciones específicas no fueron probadas en ninguno de los programas utilizados. No obstante, es importante reconocer que estas capacidades están disponibles y pueden ser aprovechadas en futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la modelación de inundaciones.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-Los modelados obtenidos en Iber representaron tres escenarios, una MS, MSS y MSSRCP. De los cuales, solo el MSS y el MSSRCP muestran inundaciones tanto para la actualidad y/o para el año 2100.

-El modelado MSS presenta entrada de agua en las zonas de las calles Av. Costanera, Gral. Guemes, Punta Verde y los barrios 80 viviendas y Sisivial. Los cuales fueron comparados por los talleres y la municipalidad de SAO.

-Se infiere que el valor de una pleamar en una MSS se encuentra a partir de los 9 m alcanzando valores máximos de 9.8 m.

-El modelado MSSRCP del *software* Iber muestra que las zonas inundables para el año 2100 aprovechan las mismas zonas que se ven afectadas en la actualidad en la MSS para seguir ingresando por la ciudad.

-La construcción de mitigaciones por parte del municipio, como la elevación del Camino Circunvalación al Sur de la ciudad o los muros son una solución temporal. Para el año 2100 se considerar tener un plan de mitigaciones y/o ordenamiento territorial correcto.

-Iber ofrece herramientas para graficar mitigaciones, lo que permite generar muros u otros elementos para entender cómo se comportaría el agua en esas situaciones, brindando información para diseñar posibles soluciones para el planeamiento y/o organización de la ciudad.

-En un futuro se podría mejorar los modelados obteniendo un MDE que considere la zona de la boca de entrada de la bahía, para poder utilizar una sola tabla de marea.

-A la hora de realizar modelados de inundaciones en los *softwares* Iber o Global Mapper se debe tener en cuenta como presentan los resultados cada uno de estos programas. Iber es recomendable cuando se necesita obtener el movimiento de un flujo de agua (hidrodinámica), en cambio, Global Mapper solo mostrara un nivel máximo de inundación a partir de una línea.

-Iber posee algunas limitaciones cuando se trabaja con áreas de gran tamaño, debido a que le lleva mayor tiempo realizar el mallado, cargar el MDE de mayor resolución y generar el cálculo. En cambio, Global Mapper requiere menor tiempo de cálculo.

BIBLIOGRAFIA

- Andreis, R. (1965). Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro (tramo General Conesa - Boca del Río Negro). *Revista Museo de La Plata, Geología* 36: 245-310.
- Angulo, R., Fidalgo, F., Gómez Peral, M. y Schnack, E. (1978). Las intrusiones marinas cuaternarias en la bahía de San Antonio y sus vecindades, provincia de Río Negro. VII Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Argentina, 7 pp.
- Barnard, P. L., Erikson, L. H., Foxgrover, A. C., Hart, J. A. F., Limber, P., O'Neill, A. C., ... y Jones, J. M. (2019). Dynamic flood modeling essential to assess the coastal impacts of climate change. *Scientific reports*, 9(1), 4309.
- Busteros, A., Giacosa, R., Lema, H. y Zubia, M., (1998). Hoja Geológica 4166-IV, Sierra Grande, Provincia de Río Negro. SEGEMAR, 75 pp.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., ... y Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 30(1): 1–10.
- Dragani, W., Speroni, y J. D'Onofrio, E. (2008). Estudio de la circulación de las aguas del golfo San Matías mediante la aplicación de modelos numéricos hidrodinámicos forzados con marea y viento. Sub-proyecto a-b-30 (GEFPatagonia). XXIII Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, Bahía Blanca, Argentina, 25 pp.

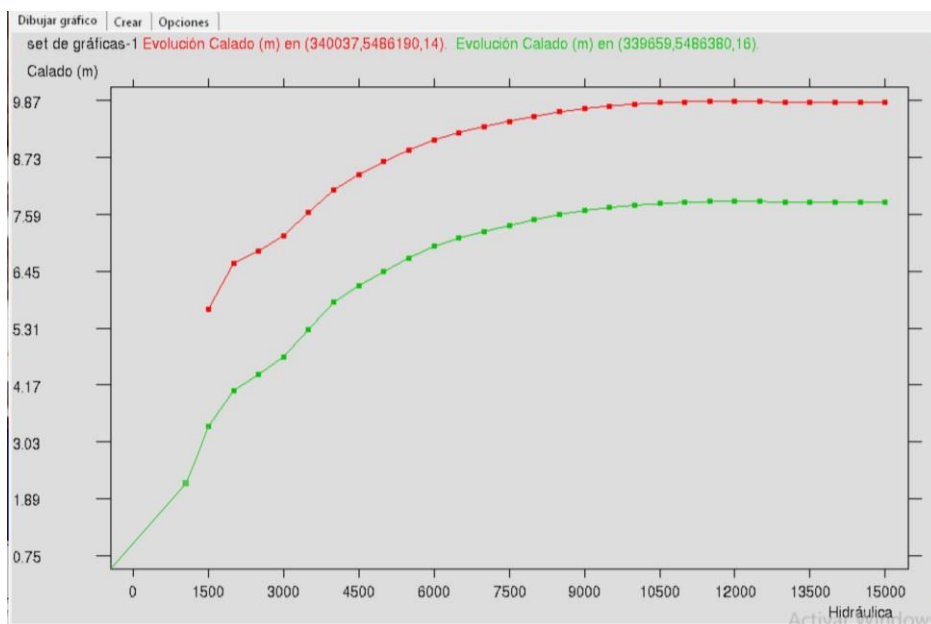
- Escofet, A., Orensanz, J. M., Olivier, S. R., y Scarabino, V. (1978). Biocenología bentónica del Golfo San Matías (Río Negro, Argentina): metodología, experiencias y resultados del estudio ecológico de un gran espacio geográfico en América Latina. En *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, 5: 59-81.
- Feruglio, E. (1933). Nuevos datos sobre las terrazas marinas de Patagonia. *Boletín de Informaciones Petrolíferas*, 10(103): 1-20.
- Feruglio, E. (1950). Descripción Geológica de la Patagonia, Buenos Aires: Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales 3. Buenos Aires, 431p.
- Fidalgo, F. y Porro, N. (1981). Descripción geológica de la Hoja 39j, San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional. Buenos Aires, 75 pp.
- Fucks, E. E., Schnack, E. J., y Charó, M. (2012). Aspectos geológicos y geomorfológicos del sector N del golfo San Matías, Río Negro, Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 25(1-2): 95-105.
- Gelós, E.M., Spagnuolo J.O. y Schillizzi, R.A., (1988). Las unidades morfológicas de la costa norte del Golfo San Matías y su evolución. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 43(3): 315-326.
- Gelós, E.M., Schillizzi, R.A y Spagnuolo J.O., (1992a). El Cenozoico de la costa norte del Golfo San Matías, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(2): 135-140.
- Gelós, E.M., Schillizzi, R.A y Spagnuolo J.O., (1992b). El Mesozoico superior-Cenozoico de la costa occidental del Golfo San Matías. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(4): 423-426.
- Gelós, E.M., Spagnuolo J.O. y Schillizzi, R.A., (1992c). Las unidades morfológicas de la costa oeste del Golfo San Matías y su evolución. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(4): 365-371.
- González Díaz, E. F., y Malagnino, E. C. (1984). Geomorfología de la Provincia de Río Negro. Publicación Especial. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Argentina, 1-159 pp.
- Harrington, H. (1962). Paleogeographic development of South America. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 46(10): 1773-1814.

- Kokot, R. R., Codignotto, J. O. y Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 59(3): 477–487.
- Kokot, R. R., y Favier-Dubois (2009). Evolución geomorfológica de la Bahía San Antonio. Río Negro, Argentina. Su importancia para el registro de ocupaciones humanas. II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, La Plata, Argentina, 125 pp.
- Kokot, R. R., y Dubois-Pavier, M. C. (2017). Evolución geomorfológica de la Bahía de San Antonio, Provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires*, 74 (3): 1-36.
- Lefebvre R., (1977). Mi querido Puerto San Antonio. Ed. del autor, Viedma, 172 pp.
- Lizuain, A. y Sepúlveda, E. (1978). Geología del Gran Bajo del Gualicho (Provincia de Río Negro) VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Argentina, Actas 1: 407-422.
- LM Cipolletti. (3 de septiembre 2019). “Mega pleamar provocó nuevos trastornos en San Antonio y Las Grutas”. *Diario LM Neuquén*. <https://www.lmcipolletti.com/mega-pleamar-provoco-nuevostrastornos-san-antonio-y-las-grutas-n648592>.
- Martínez, H., Nández, C., Lizuain, A., Dal Molin, C. y Turel, A. (2001). Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina San Antonio Oeste Provincia de Río Negro 1:250.000 1:250.000. Buenos Aires.
- Miyar. (4 de enero 2022). El mar cubrió varios vehículos en Las Grutas y el Puerto San Antonio Este. *Diario Río Negro*. <https://www.rionegro.com.ar/el-mar-cubrio-varios-vehiculos-en-las-grutas-y-elpuerto-san-antonio-este-2105210/>.
- Mintenbeck, K., Alergría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B. y Weyer, N. M. (2019). Resumen para responsables de políticas, en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante de IPCC.
- Mouzo, F. H. (2014). Edad del golfo San Matías, plataforma continental Argentina y la estratigrafía en el gran bajo de San Antonio, Provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1): 125-138.

- Río Negro. (2019, Junio). Calles inundadas y tránsito complicado por las lluvias en Las Grutas y SAO. *Diario Río Negro*. <https://www.rionegro.com.ar/calles-inundadas-y-transitocomplicado-por-las-lluvias-en-las-grutas-y-sao-1013049/>.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... y van Ypserle, J. P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc, 151 pp.
- Pörtner, H. O. (2021). El papel de los océanos en el contexto de un clima cambiante. Instituto Alfred Wegener de Investigaciones Polares y Marinas, Vol. 70 (1) – 2021.
- Servicio de Hidrografía Naval (2023). Tablas de Marea. <http://www.hidro.gob.ar/Oceanografia/Tmareas>.
- Scasso, L. y Piola, A. (1988). Circulación en el Golfo San Matías. Servicio de Hidrología Naval, Departamento de Oceanografía, *GeoActa*, 15: 33-51.
- Shukla, P. R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., ... & Malley, J. (2019). IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

ANEXOS

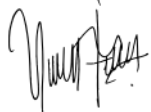
Anexo 1



Tiempo (s)	Canal Superior	Canal Inferior	Escenario
	Nivel de agua (m)	Nivel de agua (m)	
0	0.82	0	
3600	0.75	0	
7200	0.8	0	
10800	5.54	2.88	
14400	6.72	3.62	
18000	7.3	4.32	
21600	8.04	5.41	
25200	8.36	5.74	
28800	8.62	6.01	
32400	8.87	6.29	
36000	9.07	6.53	
39600	9.22	6.07	
43200	9.34	6.83	
46800	9.45	6.95	
50400	9.55	7.07	
54000	9.64	7.17	
57600	9.71	7.25	
61200	9.76	7.32	
64800	9.8	7.36	
68400	9.83	7.4	
72000	9.85	7.42	
75600	9.86	7.44	
79200	10.66	8.27	

Anexo 2

Fecha	Pleamares	Bajamares
ene-22	9,18	0,52
feb-22	9,27	0,77
mar-22	9,25	0,5
abr-22	9,03	0,71
may-22	8,94	0,66
jun-22	9,05	0,56
jul-22	8,81	0,37
ago-22	9,17	0,34
sep-22	9,03	0,21
oct-22	9,05	0,47
nov-22	8,78	0,81
dic-22	9,02	0,71
ene-23	9,14	0,47
feb-23	9,46	0,31
mar-23	9,53	0,39
abr-23	9,19	0,53
may-23	9,02	0,87
jun-23	8,67	0,53
jul-23	8,83	0,66
ago-23	9,08	0,34
sep-23	9,1	0,34
oct-23	9,33	0,16
nov-23	9,18	0,36
dic-23	8,67	0,88



Fernandez Luengo, V.